

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

松辽盆地异常压力系统及其形成原因探讨

向才富^{1,2)}, 冯志强³⁾, 吴河勇³⁾, 庞雄奇^{1,2)}, 李军虹^{1,2)}

1) 中国石油大学资源与信息学院盆地中心, 北京, 102249

2) 中国石油大学教育部石油与天然气成藏机理重点实验室, 北京, 102249

3) 大庆油田勘探开发研究院, 163458

内容提要: 松辽盆地泥岩声波时差反映盆地纵向上存在四套欠压实泥岩, 即嫩江组一、二段泥岩, 青山口组一段泥岩, 泉头组一、二段泥岩和登楼库组一、二段泥岩。泥岩欠压实顶界面位于 1000m 左右, 向盆地东部有逐渐抬高的趋势, 局部地区位于 800m 附近。钻杆测试数据(DST)、重复地层测试数据(RFT)反映盆地储层压力系统以龙虎泡阶段和大庆长垣为界, 分为西部斜坡带常压—低压系统(压力系数 <1.06)、齐家古龙凹陷—大庆长垣高压系统(压力系数 >1.06)和三肇凹陷及其以东的低压—异常低压系统(压力系数 <0.96)。分析这种特殊压力结构的原因及其对油气运移聚集的影响, 认为晚期构造活动是形成松辽盆地特殊流体动力场空间分布特征的触发器, 嫩江组沉积末期以来东部斜坡带和西部斜坡带的抬升剥蚀作用与水热效应结合是形成松辽盆地异常低压的主要原因, 而泥岩生烃作用是形成齐家古龙凹陷异常高压系统的主要原因。

关键词: 流体封存箱; 异常压力; 松辽盆地

异常压力流体活动不仅参与了盆地中物质与能量的迁移, 而且参与了几乎所有的地质作用过程(Drzewiecki et al., 1991; Cartwright, 1994; Miller et al., 2000), 因此异常压力的成因及流体运移规律一直是地质领域的研究热点(Hunt, 1990; Hunt et al., 1994; Osborne et al., 1997; Borge, 2002)。异常压力包括异常高压(郝芳等, 2001)和异常低压(Hunt, 1996; 解习农等, 2003)。异常高压形成的原因主要有压实作用(包括粘土矿物脱水作用、次生矿物的形成等)、烃类生成、水热效应、构造隆升等(Osborne et al., 1997; Swarbrick, 1999), 异常低压的形成原因主要有构造隆升、水热作用等(Hunt, 1996; 解习农等, 2003)。异常流体压力虽然普遍存在, 但是两种异常流体压力同时出现的情况却十分罕见。虽然从计算机模拟的角度提出了两种异常压力系统可能同时出现(Jiao et al., 1998), 但一直没有可供系统研究的实例(Bradley et al., 1995; Serebryakov et al., 1995)。在借鉴有关松辽盆地流体动力场研究成果的基础上(迟元林等, 2000; 楼章华等, 2001), 通过对泥岩压实与储层压力特征的系统分析, 本文剖析了松辽盆地异常高压与异常低压

并存的特殊现象, 指出白垩纪之后的构造活动及其产生的差异沉降作用是导致异常高压与异常低压共存的原因。

1 盆地地质特征

松辽盆地位于郯庐断裂带的西部, 地跨中国东北三省及内蒙古自治区的一部分, 盆地近菱形, 面积约 $2.3 \times 10^4 \text{ km}^2$, 孕育了世界上最大的非海相大庆油田(图1)。大庆油田的勘探开发是中国石油工业的支柱, 同时也是陆相生油理论产生的实践基础(杨万里等, 1985)。松辽盆地主要沉积了中、新生代的沉积岩系, 最大沉积厚度超过了 10000m, 地层自下而上依次为上侏罗统上部、白垩系、第三系和第四系。盆地具有典型的下断上凹的双层结构, 白垩纪泉头期之前为盆地的裂陷演化阶段, 主要沉积了一套复理石沉积和火山碎屑岩。泉头期—嫩江期为盆地的凹陷演化阶段, 沉积了三套半深湖—深湖相泥岩与滨浅湖—河流相砂砾岩, 是盆地主要的生烃源岩与储集层。嫩江期之后盆地整体抬升剥蚀, 进入萎缩褶皱阶段, 沉积中心不断向西迁移(杨万里等, 1985), 主要沉积了一套河流相沉积(图1)。盆地内划分了

注: 本文为国家重点基础研究计划“973”项目(编号 2005CB422107)资助成果。

收稿日期: 2005-09-19; 改回日期: 2006-08-03; 责任编辑: 周健。

作者简介: 向才富, 男, 1975年生, 副教授。主要从事地质流体及其成矿与成藏作用研究。Email: xcf_ljh@sohu.com。

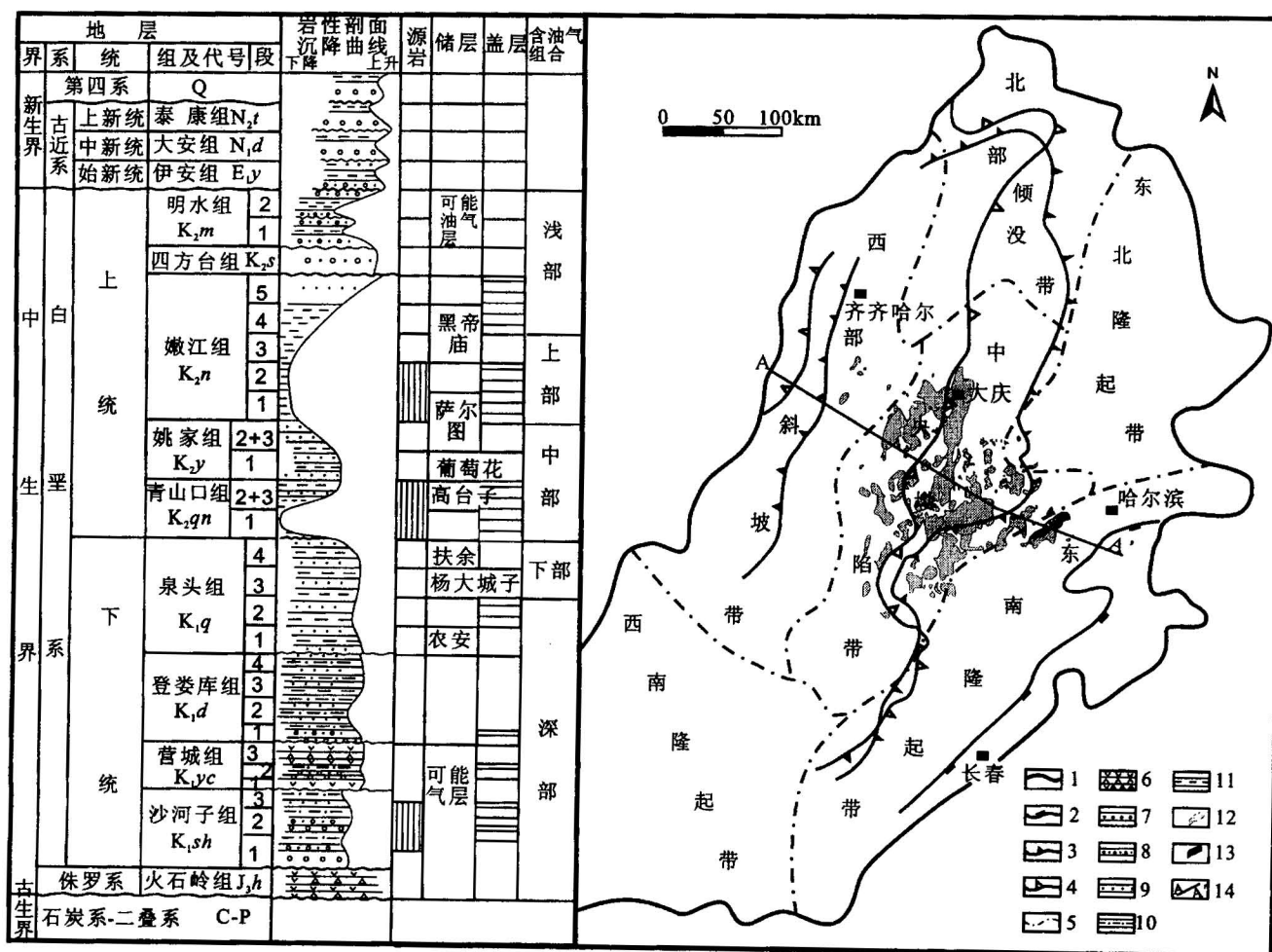


图 1 松辽盆地构造区划与沉积充填特征

Fig. 1 Tectonic and sedimentation character of the Songliao Basin, Northeast China

- 1—盆地边界;2—嫩江组残留边界;3—上白垩统残留边界;4—泰康组残留边界;5—一级构造分区线(二级构造分区及名称见杨万里等, 1985);6—火山岩与火山碎屑岩;7—砾岩;8—砂砾岩;9—砂岩;10—砂质泥岩;11—泥岩;12—油田;13—气田;14—图 2 剖面位置
- 1—Boundary of the basin; 2—boundary of Nenjiang Formation; 3—boundary of Late Cretaceous; 4—boundary of Taikang Formation; 5—tectonic dividing line(see Yang et al., 1985 for further subdividing); 6—volcanic and pyroclastic rocks; 7—conglomerate; 8—glutinitite; 9—sandstone; 10—sandy mud; 11—mudstone; 12—oilfield; 13—gas field; 14—location of the profile shown in Fig. 2

五个含油气组合,其中中、下部含油气组合是盆地的主要勘探对象(图 1)。

2 压力场特征

松辽盆地压力场的总体特征是泥岩超压,而储层压力特征多样,常压、低压与超压并存。

2.1 泥岩欠压实

泥岩声波时差与电阻率曲线是分析异常压力的常用方法,通过对北西向穿越盆地典型地质剖面上读取的 120 口井声波时差与泥岩电阻率的系统分析,可以看出松辽盆地嫩江组及其以下地层均存在比较明显的泥岩欠压实现象,表现在泥岩声波时差

明显偏离正常压实趋势线(图 2)。将不同井位的欠压实层段沿剖面展开,即可以识别出松辽盆地区域分布稳定的四套欠压实泥岩,即嫩江组,青山口组一段,泉头组一、二段(图 2 钻井 SL4)和登楼库组一段泥岩(图 2 钻井 SL9)。这四套欠压实泥岩在盆地中分布稳定,而且厚度巨大(杨万里等,1985),是松辽盆地最重要的烃源岩和区域盖层,剖面上也显示大部分油气藏均分布于区域欠压实泥岩的下部(图 2)。不同层段欠压实现象在剖面上存在明显的分合现象,如青山口组和泉头组两套欠压实泥岩在齐家古龙凹陷合并(图 2SL3、4)和青山口组、泉头组及登楼库组泥岩欠压实现象在盆地东南隆起带的合并

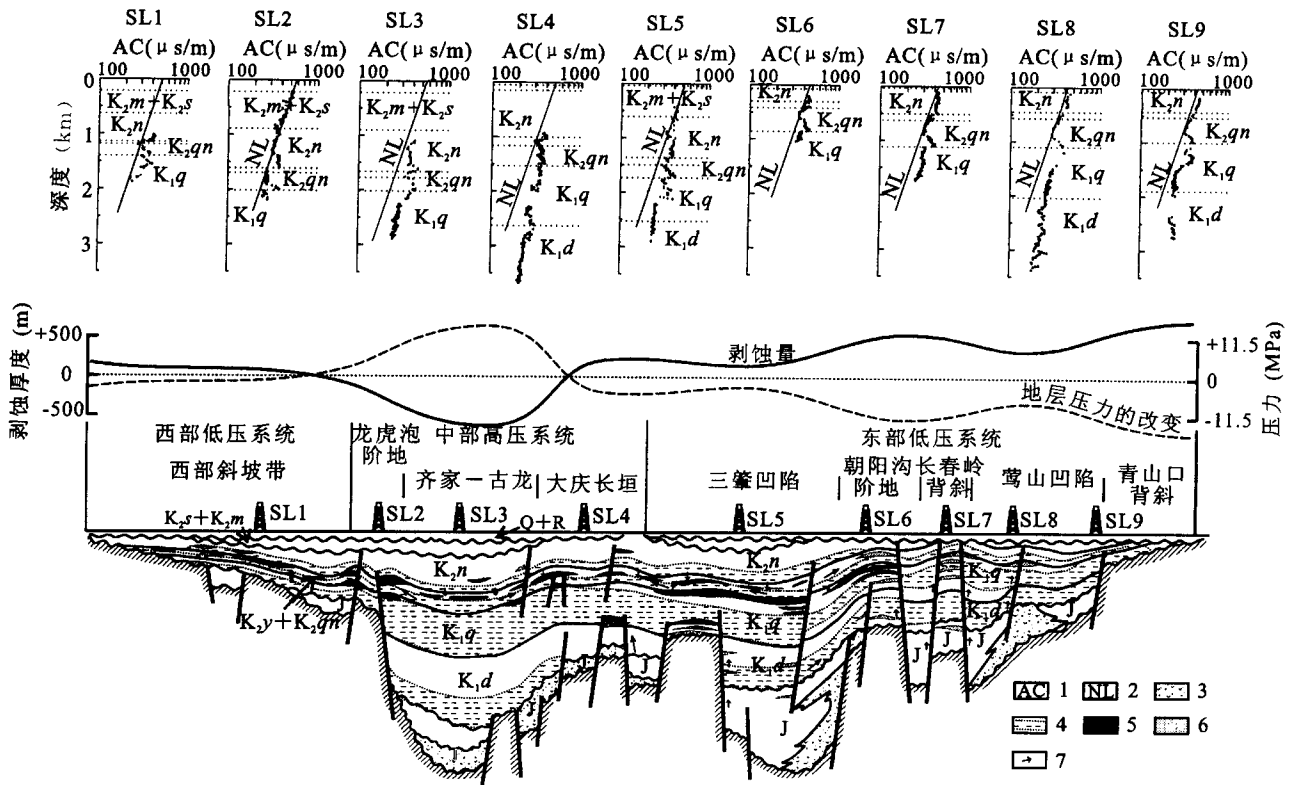


图 2 松辽盆地泥岩欠压实现象及其空间分布特征

Fig. 2 Undercompacted mudstone and its space distribution in the Songliao Basin, Northeast China

1—泥岩声波时差($\mu\text{s}/\text{m}$); 2—泥岩正常压实趋势; 3—火山碎屑岩; 4—欠压实泥岩; 5—油藏; 6—气藏; 7—油气运移方向

1—Acoustic time of the mudstone ($\mu\text{s}/\text{m}$); 2—normal burial line; 3—pyroclastic rocks; 4—undercompacted mudstone; 5—oil reservoir;

6—gas reservoir; 7—hydrocarbon migration direction

(图 2SL9)等。松辽盆地在泥岩欠压实顶界面总体位于 1000m 左右,并有向盆地东部斜坡带逐渐变浅的趋势,在严重剥蚀的地区欠压实顶界面甚至出现在 800m 左右,远远小于中国东部多数第三系典型超压盆地的泥岩欠压实出现的 2000~3000m 的深度范围(郝芳等,2001)。

2.2 储层压力特征

为分析松辽盆地的地层压力特征,前人提出了不同的异常压力划分方案(刘文龙等,2000;王宏语等,2002),本文采用国内外统一标准(异常低压压力系数 <0.8 ;低压压力系数 $0.8\sim0.96$;常压系统压力系数 $0.96\sim1.2$;高压压力系数 >1.2)。通过对 20 世纪 50 年代以来 565 口井 1366 个地层测试(RFT)数据和 373 口井 792 个钻杆测试数据(DST)分析,发现各个油层均表现出超压、常压与低压系统并存的特征,超压顶界面位于 1350m 左右(图 3)。从各个油层压力系统的平面分布特征上看,以龙虎泡阶地及大庆长垣为界,松辽盆地西部斜坡带为常压—低

压系统,龙虎泡阶地—齐家古龙凹陷—大庆长垣为高压—异常高压系统,而三肇凹陷及其以东主要为低压—异常低压系统。仅在青山口背斜葡萄花油层有 2 个数据点落在压力系数 >1.06 的区间(图 3),误差率为 1.15%,在分析测试误差范围之内,说明这一总体规律是可靠的。

2.3 流体封存箱划分

流体封存箱是被有效封隔体所分隔的三维流体单元,一个完整的流体封存箱存在顶、底及侧向封隔体(Seals),而侧向封隔体是划分流体封存箱的关键(Tigert et al., 1990)。流体封存箱的存在只能靠不同系统之间的流体压力系统的差异识别,而没有其它更好的办法,松辽盆地储层 3 大压力系统表明了压力封存箱的存在。

松辽盆地嫩江组和青山口组超压泥岩是松辽盆地各个流体封存箱的良好顶、底封隔体(图 2),因为超压泥岩有效地阻碍了被其分割的不同流体单元之间的物质和能量的交换。断层一般被认为是流体封

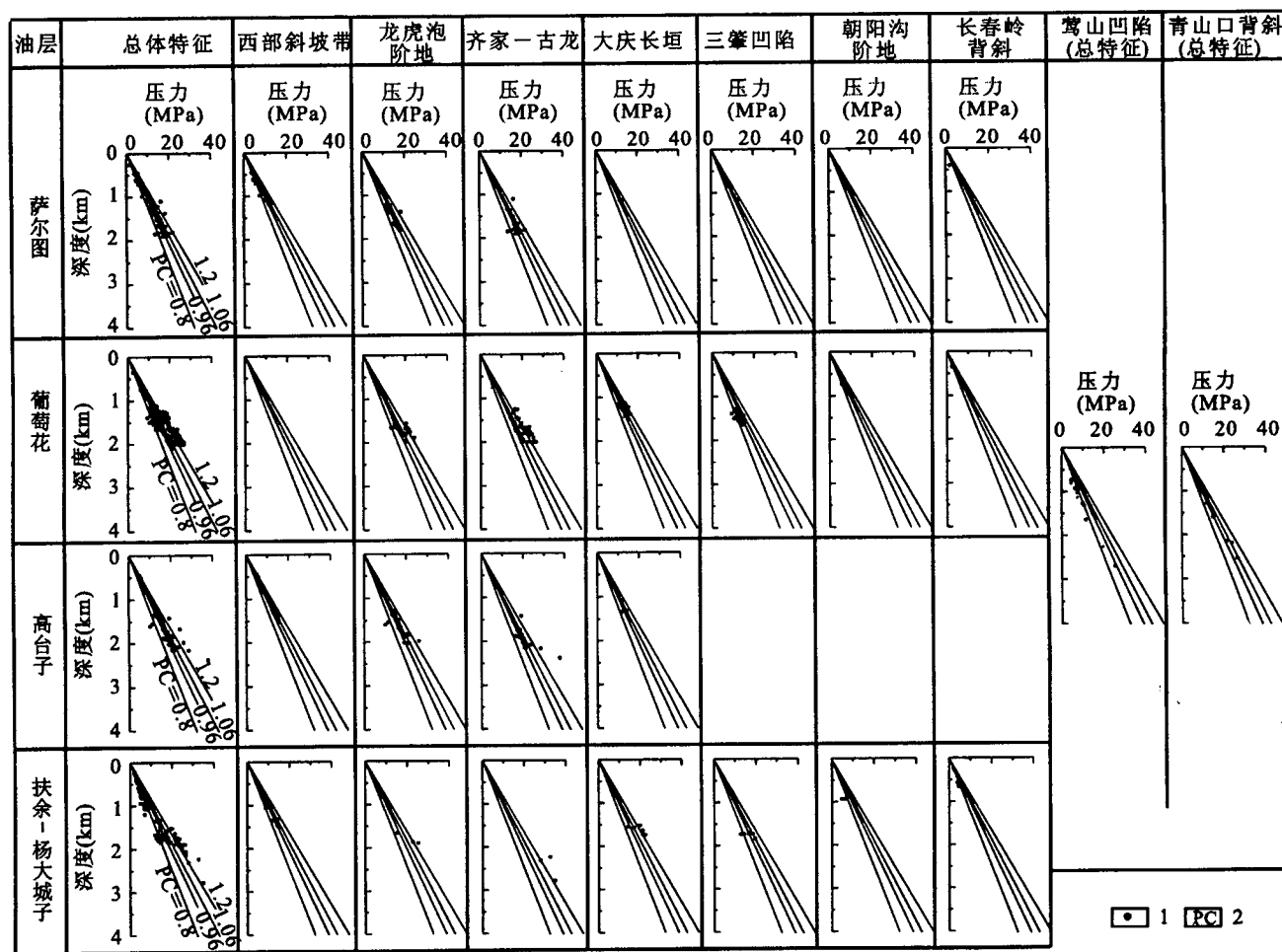


图 3 松辽盆地储层流体压力特征

Fig. 3 Abnormal fluid pressure distributed in the Songliao Basin, Northeast China

1- 地层压力; 2- 压力系数

1- Formation pressure; 2- pressure coefficient

存箱的侧向封隔体(Cartwright, 1994),同时成岩作用也可能形成压力封存箱的侧向封隔体(Tigert et al., 1990)。松辽盆地存在超压泥岩侧向封堵的现象(图 2):西部斜坡带的泉头组一、二段超压泥岩和泉头组三段超压泥岩(图 2 中 SL1 井)、齐家古龙凹陷中泉头组三、四段超压泥岩与青山口组一段泥岩之间(图 2 中 SL3 井)、长春岭背斜的泉头组三、四段超压泥岩和青山口组超压泥岩(图 2 中 SL7 井)中均不存在由流体运移导致的泥岩泻压现象。超压泥岩的包裹在盆地中形成了几个明显的封存箱,尤以发育在青山口组超压泥岩之下的流体封存箱最为明显(图 2)。东部斜坡带与西部斜坡带青山口组一嫩江组沉积时期沉积速率慢、相变复杂的特点为超压泥岩的侧向封堵奠定了良好的物质基础。储层压力系统的侧向分布规律(图 3)表明松辽盆地流体封存

箱在侧向上具有良好的封堵性。根据内部泥岩发育层位,可以将松辽盆地每一个压力系统内部自上而下划分为登楼库组一、二段以下流体封存箱,登楼库组一、二段—泉头组一、二段流体封存箱、泉头组二段—青山口组一段泥岩封存箱、青山口组一段—嫩江组一、二段流体封存箱。这一划分方案与本区油气藏的空间分布规律具有良好匹配关系。

3 成因探讨

松辽盆地是一个以白垩纪为主体的盆地,新生界仅在盆地的西部齐家古龙凹陷有沉积,即盆地经历了晚白垩世以来 65Ma 的抬升剥蚀和冷却,在这样的背景下仍然发育了泥岩超压现象,其形成机制有待进一步探讨。

3.1 压实作用

压实作用对超压的贡献源于 Terzaghi 和 Peck 的土壤固结实验模型 (Terzaghi et al., 1948; Hubbert et al., 1959), 并逐渐被证明是形成世界上大多数盆地异常高压的主要原因 (Hunt, 1990, 1996)。松辽盆地白垩系充填序列超过 10000m, 其沉积速率 (80m/Ma) 和世界上其他典型超压盆地的沉积速率相当 (杨万里等, 1985), 而青山口组泥岩与嫩江组泥岩是优质的烃源岩与盖层, 压实不均衡作用是导致松辽盆地泥岩超压的主要原因。异常压力的产生和消散的相对速率决定了盆地的现今压力状态。松辽盆地白垩纪之后总体进入抬升剥蚀阶段, 早期形成的压力进入以散失为主的时期。虽然新生代间歇性的沉积作用对延缓泥岩中已形成超压的消散有不可忽略的作用, 但是其沉积中心向西部迁移, 沉积速率锐减 (杨万里等, 1985), 已经不是维持盆地泥岩超压的主要原因。此时压实作用对泥岩超压的贡献表现在减小泥岩超压散失的速率, 主要通过成岩作用及次生矿物 (石英、方解石) 的生产降低输导层的孔隙度和渗透率。虽然蒙脱石脱水作用也被认为是产生超压的主要原因之一 (Bruce, 1984; Colton-Bradley, 1987), 但是没有新生沉积物的堆积, 不同深度粘土矿物的脱水作用将最终中止, 而这正是松辽盆地晚白垩世以来所发生的超压过程。总之压实作用是产生松辽盆地古超压系统的主要原因, 而不是维持现今超压系统的主要原因。

3.2 生烃作用

泥岩生烃作用是产生超压的另外一个主要原因 (Hunt, 1990, 1996)。松辽盆地白垩纪至今已经经历了 65Ma 的异常压力消散期, 即使压实作用在晚期能够减小泥岩超压的散失, 但没有新生物质的供给也很难维持古龙凹陷的超压系统。青山口组泥岩和嫩江组泥岩是优质的烃源岩, 现今生烃门限深度位于 1350m (杨万里等, 1985), 与超压顶界面的深度一致 (图 3), 充分说明生烃作用是导致松辽盆地现今超压泥岩的主要原因。泥岩超压作用向邻近砂岩输导体的传导可在储层中形成高压异常 (郝芳等, 2001), 因此它对形成松辽盆地西部超压封存箱的贡献同样不容忽视。生烃作用虽然能完美解释松辽盆地的泥岩超压及齐家古龙凹陷的超压封存箱系统, 却不能解释大庆长垣以东低压封存箱的形成原因。

3.3 水热作用

水热超压作用对异常压力的形成具有重要的贡献, 对已经形成的压力封存箱, 温度的增加会强化超

压异常, 反之, 会弱化超压异常。强化低压异常, 效应强度随着盆地地温梯度的增加而加强 (Hunt, 1996)。假设地层水的密度为 $1.0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$, 松辽盆地现今地温梯度为 $4.5^\circ\text{C}/100\text{m}$, 则埋藏深度每增加 1000m, 其水热增压效应 (图 4 中 L→M, 约 68.7MPa) 是不考虑水热效应压力变化 (图 4 中 L→N, 约 23MPa) 时的 3 倍 (图 4)。热演化史研究表明松辽盆地的大地热流值在地质历史时期是不断减小的, 由侏罗纪的 $90 \sim 110 \text{ mW/m}^2 \rightarrow$ 白垩纪的 $70 \sim 80 \text{ mW/m}^2 \rightarrow$ 古近纪的 $60 \sim 70 \text{ mW/m}^2 \rightarrow$ 新近纪 $45 \sim 60 \text{ mW/m}^2$ (Zhou et al., 1999), 可见地质历史时期的水热作用对流体超压作用的影响更大。

松辽盆地大地热流值的总体降低说明盆地一直处于不断冷却过程中, 如果没有新沉积物的堆积, 相同深度地层温度的绝对降低将导致流体压力的消散, 对超压流体的保存是极为不利的, 这是产生西部斜坡带和三肇凹陷以东地区储层流体异常低压的主要原因。

3.4 构造活动

松辽盆地萎缩褶皱阶段的构造活动主要表现为盆地的差异沉降过程, 这和盆地所处的大地构造背景及其区域演化关系密切。嫩江组沉积末期以来受现今太平洋板块低角度 ($< 30^\circ$) 快速俯冲 ($100 \sim 298 \text{ mm/a}$) (Engelbreton et al., 1985; Maruyama et

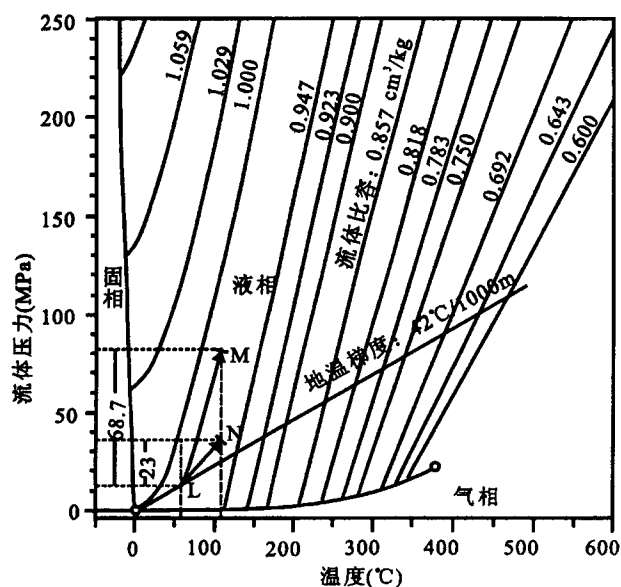


图 4 水热作用对松辽盆地流体压力的影响

(据 Diamond, 2003 修改)

Fig. 4 Hydrothermal effect that have developed in the Songliao Basin, Northeast China (modified from Diamond, 2003)

al., 1986; 李娟等, 2002) 的影响, 导致盆地自东向西的差异翘倾, 沉积上表现为嫩江组沉积末期以来沉积中心不断向西部斜坡带迁移, 盆地东部斜坡带的隆升幅度大, 抬升剥蚀量大(剥蚀量 500~1000m), 局部地区已经剥蚀至泉头组地层, 而盆地西部抬升剥蚀量小(<500m), 齐家古龙凹陷第三系之后的地层厚度最大仍然达到了 500m(图 2)。由此产生的流体压力条件的改变标注在图中, 三肇凹陷向东部斜坡带流体压力的消散量由 4.6MPa(按剥蚀量 200m 计算)逐渐增加到 11.5MPa(按剥蚀量 500m 计算), 相反齐家古龙凹陷压力将增加 11.5MPa, 并向西部斜坡带过渡为压力的消散 4.6MPa, 如果考虑流体的水热效应, 其影响将更显著。上述分析表明晚期构造活动的特征是形成盆地特殊流体压力场的触发器, 是导致盆地高压封存箱与低压封存箱共存的关键。

4 讨论

松辽盆地流体压力特征总体表现为三大流体压力系统, 特别是以大庆长垣为界的东部低压系统和西部超压系统的识别对重新认识盆地晚期流体活动及油气运聚成藏规律具有重要的影响。松辽盆地三个大的压力系统中尤以大庆长垣的高压异常最为引人瞩目, 因为其高压异常是在经历了大幅度抬升与风化剥蚀基础之上发育起来的。大庆长垣的风化剥蚀量在 200m 左右。盆地现今压力状态是流体供给与压力消散的动态过程, 可见齐家古龙凹陷和三肇凹陷现今向大庆长垣仍然存在强烈的流体供给作用, 齐家古龙凹陷以超压流体为主要的流体运移动力, 而三肇凹陷流体运移的主要动力可能是烃类的浮力作用。

西部斜坡带和东部斜坡带均以异常低压为特征, 但其油气资源潜力却迥异, 表现在西部斜坡带中部含油气组合中发现了丰富的稠油与天然气资源, 而三肇凹陷以东的中部含油气组合却只在葡萄花油层中获得了油气资源, 这与盆地总体的流体压力场匹配关系密切。西部斜坡带紧邻齐家古龙凹陷超压封存箱, 有利于油气在压力的作用下向西部斜坡带运移, 而东部斜坡带与三肇凹陷相邻, 两者均由于构造抬升剥蚀作用发育了低压封存箱, 导致油气的侧向运移缺少克服毛细管压力的动力因素。

松辽盆地三大异常压力系统的形成发展历史对其总体油气资源的空间匹配具有重要的影响。青山口组以下地层异常压力封存箱形成时间早, 因此全

盆地均发现了下部含油气组合的天然气与油气资源, 但是青山口组以上异常压力封存箱的形成与演化却与嫩江组之后的构造活动密切相关, 自东向西的构造隆升导致盆地内部异常压力的消散由东部逐渐蔓延到整个三肇凹陷, 导致其中、上部含油气组合在东部没有发现大规模的油气聚集, 而在西部斜坡带见到了比较丰富的油气资源。

5 结论

通过对松辽盆地流体压力场的总体分析, 得出以下主要结论:

(1) 松辽盆地压力场特征表现出明显的泥岩超压现象, 盆地范围内的超压泥岩以龙虎泡阶地和大庆长垣为界, 将盆地划分为三大压力系统: 西部斜坡带异常低压—常压系统、齐家古龙凹陷常压—异常高压系统和三肇凹陷以东的异常低压—常压系统。

(2) 泥岩生烃作用是形成松辽盆地泥岩超压的主要动力因素, 压实作用仅起到了延缓流体异常压力消散的作用。晚期构造活动是形成盆地特殊流体动力场空间分布特征的触发器和主要原因。嫩江组沉积末期以来东部和西部斜坡带的抬升剥蚀作用与水热效应结合是形成盆地异常低压的主要原因, 而泥岩生烃作用和齐家古龙凹陷的构造沉降是形成松辽盆地齐家古龙凹陷异常高压系统的主要原因。

论文所有原始资料均由大庆油田勘探开发研究院提供。

参 考 文 献

- 迟元林, 萧德铭, 殷进根. 2000. 松辽盆地三肇地区上生下储“注入式”成藏机制. 地质学报, 74(4): 371~377.
- 郝芳, 董伟良. 2001. 沉积盆地超压系统演化、流体流动与成藏机理. 地球科学进展, 16(1): 79~85.
- 李娟, 舒良树. 2002. 松辽盆地中、新生代构造特征及其演化. 南京大学学报(自然科学版), 38(4): 525~531.
- 刘文龙, 李思田, 孙德君, 等. 2000. 松辽盆地深层孔隙流体压力预测. 地球科学—中国地质大学学报, 25(2): 137~143.
- 楼章华, 金爱民, 朱蓉, 等. 2001. 论松辽盆地地下水动力场的形成与演化. 地质学报, 75(1): 111~120.
- 王宏语, 康西栋, 李军, 等. 2002. 松辽盆地徐家围子地区深层异常压力分布及其成因. 吉林大学学报(地球科学版), 32(1): 39~42.
- 解习农, 焦赳赳. 2003. 松辽盆地十屋断陷异常低压体系及其成因机制. 地球科学—中国地质大学学报, 28(1): 61~66.
- 杨万里, 高瑞祺, 郭庆福, 等. 1985. 松辽盆地陆相油气生成、运移和聚集. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 200~208.
- Borge H. 2002. Modelling generation and dissipation of overpressure in sedimentary basins: an example from the Halten Terrace, offshore

- Norway. *Marine and Petroleum Geology*, 19 (3): 377~388.
- Bradley J S, Powley D E. 1995. Pressure compartments in sedimentary basins; a review. In: Ortoleva P J, ed. *Basin Compartments and Seals*. AAPG Memoir 61:3~26.
- Bruce C H. 1984. Smectite dehydration—its relation to structural development and hydrocarbon accumulation in northern Gulf of Mexico Basin. *AAPG Bulletin*, 68:673~683.
- Cartwright, J A. 1994. Episodic basin-wide fluid expulsion from geopressured shale sequences in the North-sea Basin. *Geology*, 22 (5): 447~450.
- Chi Y L, Xiao D M, Yin J Y. 2000. The injection pattern of oil and gas migration and accumulation in the Sanzhao area of Songliao Basin. *Acta Geologica Sinica*, 74(4): 371~377(in Chinese with English abstract).
- Colton-Bradley V A C. 1987. Role of pressure in smectite dehydration-effects on geopressure and seectite-illite transformation. *AAPG Bulletin*, 71: 1414~1427.
- Diamond L W. 2003. Systematics of H₂O fluid inclusions. In: Samson I, Anderson A, Marshall D, eds. *Fluid inclusions: Analysis and interpretation*. Mineral Associa Canada Short Course Series, 32: 81~100.
- Dziewiecki P A, Simo T, Moline G, et al. 1991. The significance of stylolitization and intergranular pressure solution in the formation of pressure compartment seals in the ST-Peter sandstone, Ordovician, Michigan Basin. *AAPG Bulletin*, 75 (3): 565~565.
- Engelbreton D C, Cox A, Gordon R G. 1985. Relative motions between oceanic and continental plates in the Pacific Basin. *Geol. Soc. Am. Spec. Paper*, 1~59.
- Hao F, Dong W L. 2001. Evolution of fluid flow and petroleum accumulation in overpressured systems in sedimentary basins. *Advance in Earth Sciences*, 16(1): 79~85 (in Chinese with English abstract).
- Hubbert M K, Rubey W M. 1959. Role of fluid pressure in mechanics of overthrust faulting. I. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 70:115~166.
- Hunt J M. 1990. Generation and migration of petroleum from abnormally pressured fluid compartments. *AAPG Bulletin*, 74:1~12.
- Hunt J M. 1996. *Petroleum geology and geochemistry* (2nd ed.). San Francisco: Freeman Company, 743.
- Hunt J M, Whelan J K, Eglinton L B, et al. 1994. Gas generation, a major cause of deep gulf coast overpressures. *Oil & Gas Journal*, 92:59~62.
- Jiao J J, Zheng C. 1998. Abnormal fluid pressures caused by deposition and erosion of sedimentary basins. *Journal of Hydrology*, 204(1~4): 124~137.
- Li J, Shu L S. 2002. Tectonics characters and its evolution history from Mesozoic to Cenozoic, Songliao Basin, Northeast China. *Journal of Nanjing University (natural sciences)*, 38(4):525~531 (in Chinese with English abstract).
- Liu W L, Li S T, Sun D J, et al. 2000. Prediction of pore-fluid pressure in deep strata of Songliao Basin. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 25(2):137~143(in Chinese with English abstract).
- Lou Z H, Jin A M, Zhu R. 2001. Formation and evolution of the hydrodynamic field in the Songliao basin. *Acta Geologica Sinica*, 75(1):111~120 (in Chinese with English abstract)
- Maruyama S, Tetsuzo S. 1986. Orogeny and relative plate motions; example of the Japanese islands. *Tectonophysics*, 127: 305~329.
- Miller S A, Nur A. 2000. Permeability as a toggle switch in fluid-controlled crustal processes. *Earth & Planetary Science Letters*, 183 (1~2): 133~146.
- Osborne M J, Swarbrick R E. 1997. Mechanisms for generating overpressure in sedimentary basins: A reevaluation. *AAPG Bulletin*, 81:1023~1041.
- Serebryakov V A, Chilingar G V. 1995. Abnormal pressure regime in the former USSR petroleum basins. *Journal of Petroleum Science Engineering*, 13:65~74.
- Swarbrick R E. 1999. AAPG forum; pressure regimes in sedimentary basins and their prediction. *Marine and Petroleum Geology*, 16: 483~486.
- Terzaghi K, Peck R B. 1948. *Soil mechanics in engineering practice*. New York: Wiley, 565~567.
- Tigert V, Al-Shaieb Z. 1990. Pressure seals; their diagenetic banding patterns. *Earth-Science Reviews*, 29(1~4):227~240.
- Wang H Y, Kang X D, Li J. 2002. The distribution of anomalous pressure in the deep zone of Xujiaweizi, Songliao Basin and its genesis. *Journal of Jilin University (Earth science edition)*, 32 (1):39~42(in Chinese with English abstract).
- Xie X N, Jiao J J. 2003. Under pressure system and forming mechanism in the Shiwu depression of Songliao Basin. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 28(1):61~66(in Chinese with English abstract).
- Yang W L, Gao R Q, Guo Q F, et al. 1985. Generation and accumulation of non marine petroleum in the Songliao Basin. *Haerbin: Heilongjiang Science and Technology Press*, 200~208 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Y C, Littke R. 1999. Numerical simulation of the thermal maturation, oil generation and migration in the Songliao Basin, Northeastern China. *Marine and Petroleum Geology*, 16:771~792.

Three Abnormal Pressure Systems Developed in the Songliao Basin, Northeast China and Their Genesis

XIANG Caifu^{1,2)}, FENG Zhiqiang³⁾, WU Heyong³⁾, PANG Xiongqi^{1,2)}, LI Junhong^{1,2)}

1) *Basin and Reservoir Research Center of China University of Petroleum, Beijing, 102249*

2) *Key Laboratory for Hydrocarbon Accumulation Mechanism, China University of Petroleum, Ministry of Education, Beijing, 102249*

3) *Prospecting and Exploration Institute of Daqing Oil Field, Daqing Heilongjiang, 163458*

Abstract

There exist three under-compacted mudstones in the Songliao basin rectified by the sonic curve of the mudstone: they are mudstone of the first and second Member of the Nenjiang Formation, the first Member of the Qingshankou Formation, the first and second Member of the Quantou Formation and the first and second Member of the Dengloulou Formation. The mudstone becomes under-compacted when its buried depth is greater than 1000m at the west part of the basin, while this burial depth can be as shallow as 800m in the east part of the basin. Drill Stem Test (DST) and Repeated Formation Test (RFT) show that the formation pressure can be classified into three regions from west to east divided by the Longhupao Step and the Daqing Anticline. The west slope zone that lies to the west of the Longhupao Step is normal-under pressure systems with the pressure coefficient lower than 1.06. And the area lies to the east of the Daqing anticline is underpressure systems with the pressure coefficient lower than 0.96, while the area lies between is overpressure system with most of the pressure coefficient greater than 1.06. The above special distribution of the pressure system developed in the Songliao basin is resulted from the late stage tectonic movement. Tectonic uplifting and erosion ever since the Late Cretaceous is the main cause that generates the underpressure systems developed in the West uplifted zone and Southeast uplifted zone of the basin. Maturation of the mudstone is the main cause that generate the overpressure system developed in the West depression of the Songliao basin. The mechanisms that have generated abnormal pressure systems and their influence to the petroleum systems developed in the Songliao basin have been discussed carefully.

Key words: fluid compartment; abnormal pressure; Songliao Basin