

# 郯庐断裂增压带超压特征、成因及其定量评价

——以渤海海域辽东湾锦州 27 段为例

韦阿娟

(中海石油(中国)有限公司 天津分公司渤海石油研究院, 天津 塘沽 300452)

**摘要:** 郯庐断裂渤海海域锦州 27 段走滑压扭增压带 JZ27-A 井区沙三段储层内发育异常高压, 压力系数平均值达 1.5。其主要特征为: 超压顶部有厚层泥岩封隔层、超压发育段颗粒碎裂作用强、发育范围及层位受增压带范围以及走滑压扭强烈发育期影响(仅在 JZ27-A 井区沙三段储层内发育)。其形成机制为: 在东三末期到东二早期的郯庐断裂强烈右旋走滑作用下, 在走滑压扭增压带 JZ27-A 井区形成应力强烈集中区, 从而形成水平构造挤压应力, 同时由于上覆厚层泥岩的存在, 应力得不到有效释放而产生超压。依据地层压力平衡, 对走滑应力所产生的超压贡献进行了定量估算。计算结果表明, 走滑应力对超压的贡献达到了 30%~35%, 早于大量生排烃期, 极大地阻碍了油气充注。

**关键词:** 定量评价; 超压成因; 走滑压扭; 增压带; 郯庐断裂; 辽东湾

**中图分类号:** TE121.2

**文献标识码:** A

## Characteristics, origin and quantitative evaluation of overpressure in strike-slip and compression-shear booster zone of Tan-Lu Fault:

A case study in JZ27 section of Liaodong Bay, Bohai Sea

Wei Ajuan

(Exploration and Development Research Institute of CNOOC Tianjin Branch, Tianjin 300452, China)

**Abstract:** In the JZ27-A well block of the strike-slip and compression-shear booster zone in the JZ27 section of the Liaodong Bay in the Bohai Sea area of the Tan-Lu Fault, overpressure developed in the third member of the Shahejie Formation, and the pressure coefficient reached an average of 1.5. Thick mudstones sealed the overpressure on the top. Particle fragmentation was obvious in the overpressure zone. The area and thickness of the overpressure were controlled by the range of the pressure booster zone and the intense development of strike-slip and compression-shear zone, mainly restricted to the third member of the Shahejie Formation in the JZ27-A well block. The origin for overpressure was interpreted to be as follows. From the end of the third member of the Dongying Formation to the early stage of the second member of the Dongying Formation, influenced by the intense dextral strike-slip of the Tan-Lu Fault, stress concentrated in the JZ27-A well block of the strike-slip and compression-shear booster zone. Thereby, horizontal structural compression stress formed. At the same time, because of overlying thick-bedded mudstones, stress could not be released effectively. As a result, overpressure occurred. According to the balance of reservoir pressure, the contribution of strike-slip stress to overpressure was quantitatively evaluated. The contribution of strike-slip stress to overpressure was 30%–35% and occurred earlier than the period with large amounts of hydrocarbon generation and expulsion. The overpressure impeded the charging of oil tremendously.

**Key words:** quantitative evaluation; origin of overpressure; strike-slip and compression-shear booster zone; Tan-Lu Fault; Liaodong Bay

含油气盆地超压的深入研究对油气勘探有着极其重要的意义<sup>[1-5]</sup>。根据超压的成因机制, 可将超压分为 3 大类: (1) 与应力有关; (2) 与孔隙流体

体积增大相关; (3) 与流体流动和浮力相关<sup>[6-11]</sup>。目前国内对超压的研究主要集中在第一、二类。对第一类中构造应力(主要指侧向挤压应力)的研究

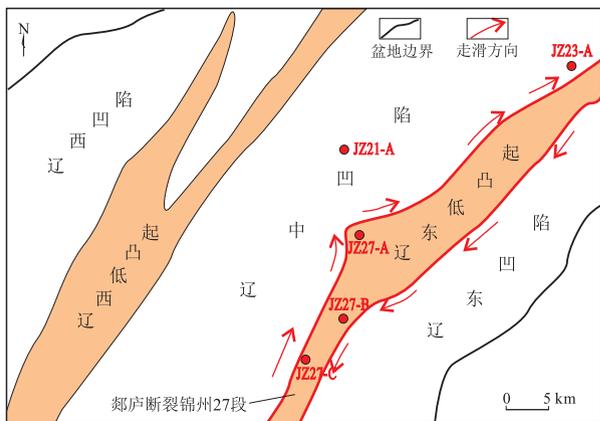


图 1 辽东湾锦州 27 区区域位置示意

Fig.1 Location of JZ27 area in Liaodong Bay

主要集中在西部盆地中,特别是前陆逆冲带中的构造挤压超压体系<sup>[12]</sup>;另外对川东北地区构造抬升形成的整体封存体系产生的超压研究也较多<sup>[13]</sup>。而对贯穿中国东部的郯庐走滑断裂引起的构造挤压增压的研究很少。

郯庐断裂带渤海海域段是渤海油田非常重要的油气富集带,对油气的差异富集起到了非常重要的控制作用<sup>[14-15]</sup>。郯庐断裂辽东湾锦州 27 段位于辽东湾海域东北部,紧邻辽中富烃凹陷(图 1),走滑压扭段位于 JZ27-A 井区,该区超压的发育影响了油气运聚成藏,因此,对该区超压发育机理的研究对今后该区乃至渤海海域郯庐断裂带的进一步油气勘探有着重要意义。

## 1 走滑压扭增压带超压发育特征

### 1.1 压力系数异常高

锦州 27 区走滑压扭段(JZ27-A 井区)古近系沙河街组三段 1 840~2 350 m 深度段,泥岩声波时差发生突变(图 2),实测压力高达 4 030.9~5 121.4 psi,压力系数平均值高达 1.5。

### 1.2 超压顶部有厚层泥岩封隔层

超压顶部的封隔层是形成超压的重要条件,同时也是超压保存的重要因素。从泥岩声波时差图(图 2)上可以看出,在超压上部出现泥岩声波时差突变带,该段为沙河街组一段—东营组三段近 300 m 厚层泥岩段,为下部超压带的发育和保存提供了非常好的保存条件。

### 1.3 超压发育段颗粒碎裂作用强

镜下观察结果表明,JZ27-A 井砂岩碎屑颗粒碎裂及裂纹情况非常普遍,占全部样品的 73%,且石英表面微裂隙非常发育,并且随着埋深增大颗粒碎裂数量增多(表 1,图 3)。沉积压实作用往往很

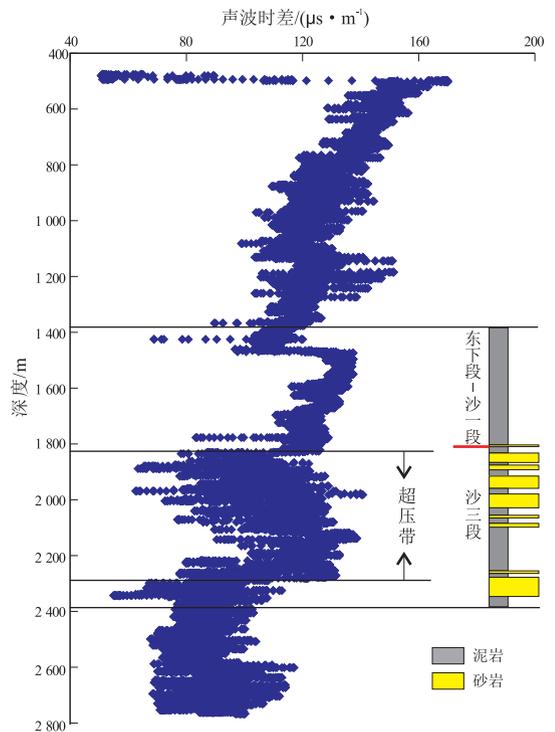


图 2 辽东湾 JZ27-A 井泥岩声波时差曲线

Fig.2 Sonic log curves of mudstones in well JZ27-A, Liaodong Bay

表 1 辽东湾 JZ27-A 井沙三段砂岩颗粒碎裂情况统计

Table 1 Statistics of particle fragmentation in sandstones of third member of Shahejie Formation in well JZ27-A, Liaodong Bay

深度/m	颗粒碎裂情况
1 891	颗粒碎裂缝伴溶蚀
1 892	颗粒多碎裂
1 921	见碎裂缝
1 974.5	颗粒碎裂缝伴溶蚀
1 979	颗粒多具裂纹
1 990	颗粒多具裂纹
2 062	颗粒碎裂缝伴溶蚀
2 084	颗粒碎裂缝伴溶蚀
2 090.5	颗粒多具裂纹
2 308.5	常见颗粒碎裂
2 324	颗粒多具裂纹
2 328	颗粒碎裂缝
2 332	多数颗粒碎裂
2 334	少量颗粒碎裂缝
2 575	常见颗粒碎裂
2 669	多数颗粒碎裂
2 679.5	颗粒多碎裂
2 741.5	多数颗粒碎裂

难引起颗粒碎裂,动力变质作用是引起颗粒碎裂的主要因素,而动力变质作用主要产生在构造活动或断裂活动强烈的局部区域。由于邻区的其他几口井均未见颗粒碎裂情况,因此,JZ27区构造应力对

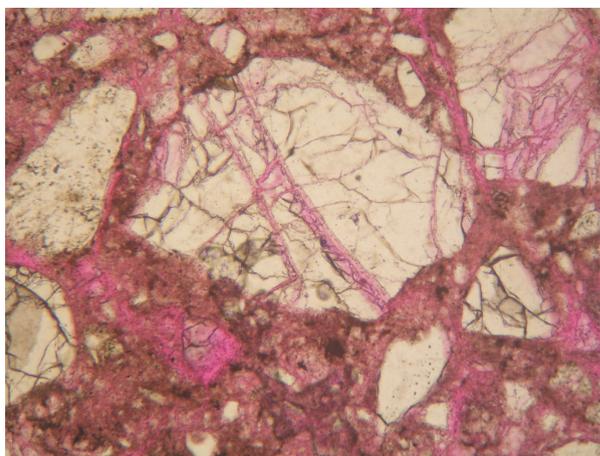


图 3 辽东湾 JZ27-A 井(1 979 m)颗粒碎裂

Fig.3 Particle fragmentation in well JZ27-A (1 979 m), Liaodong Bay

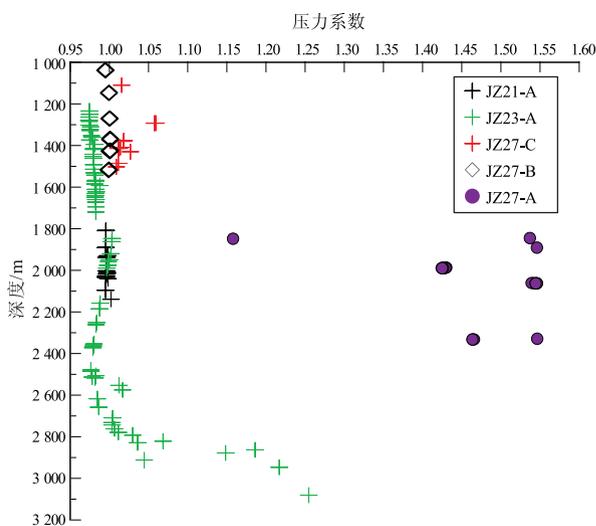


图 4 辽东湾锦州 27 区压力系数与深度关系

Fig.4 Pressure coefficient vs. depth in JZ27 area, Liaodong Bay

碎屑岩所产生的动力变质脆性变形作用是导致该区颗粒碎裂的主要原因。

#### 1.4 超压带的分布特征

平面上,超压带仅仅发育在走滑压扭增压带内(JZ27-A 井区),异常高压压力系数平均值达 1.5,而邻区各井均发育正常压力,压力系数在 0.97~1.25 之间,平均值为 1.00(图 4)。垂向上,新生代以来,郯庐断裂渤海海域段主要表现为右旋走滑特征;古近纪东三末期到东二早期,郯庐断裂辽东湾锦州 27 段发生了强烈右旋走滑,并伴随着辽东低凸起的急剧抬升,而超压发育段(古近系沙三段)下伏于东三段地层之下,其上覆地层东二上段及东一段储层中泥岩声波时差均未发生突变,不发育异常压力(图 2)。

## 2 走滑压扭增压带超压成因机制

### 2.1 非欠压实、生烃及构造抬升超压成因机制

欠压实型超压主要发育于沉降/沉积速率较高、充填岩性较细的沉积盆地中,其发育主要取决于泥岩的压实模式<sup>[6]</sup>。因此,欠压实型超压的产生主要由沉降/沉积速率以及充填较细岩性厚度(主要指泥岩)决定。JZ27-A 井沙三段超压发育段岩性主要为较粗的砂岩,且渤海海域沙三段沉积期为盆地稳定发育期,不存在较高的沉降/沉积速率,因而该区超压段不具备欠压实型超压发育条件。假使该区超压为欠压实成因,那么在处于同样上覆地质条件下的邻区各井相同层位和深度均应发育超压,实际上,邻区各井相同层位和深度均未发育超压。同时,该储层段内无较好油气发现,因而不存在生烃或油气充注等引起的超压。

在古近纪东三末期到东二早期,辽东低凸起急剧抬升,那么,这是否会形成超压?夏新宇<sup>[16]</sup>通过研究,认为构造抬升倾向于形成异常低压而不是形成异常高压,由于抬升过程中负载和温度的降低使得不平衡压实作用等因素趋于停止,构造挤压往往是抬升区超压最主要的成因。戴少武<sup>[13]</sup>在对川东北超压机理研究后认为,构造抬升的背斜顶部通常不发育超压,由于整体封存体系的存在,超压围绕背斜在侧翼发育,这种类型的超压表现为围绕背斜在侧翼发育。实际上,如果辽东低凸起急剧抬升引起超压,那么超压的存在应该具有普遍性,而在辽东低凸起侧翼几乎不发育超压,该区超压仅仅发育在 JZ27-A 井区。因此,该区的超压成因应为郯庐断裂在古近纪东三末期到东二早期的强烈走滑压扭。

### 2.2 走滑压扭增压型(构造挤压成因)超压

叶洪<sup>[17]</sup>在 1973 年做的模拟实验中证实,在单向应力作用下,在弯曲段会形成应力相对集中区(图 5a),形成局部应力集中区(图 5b)。JZ27-A 井位于郯庐右旋走滑增压弯曲段,在古近纪东三末期到东二早期的郯庐断裂强烈右旋走滑作用下形成了局部强应力集中区。同时,由于上覆厚层泥岩的存在,压力在该区得不到有效释放,在沙三段形成了水平方向上的强烈挤压效应。罗晓容<sup>[18]</sup>通过研究证明,这种水平方向的应力效应等同于垂直应力效应,从而使该区具备了产生超压的应力条件(图 5c,d)。

由于邻区相同深度及层位均不存在超压,因而上覆负荷应力在该井区仅仅产生正常压实作用。而强烈右旋走滑在弯曲增压段产生水平方向的强

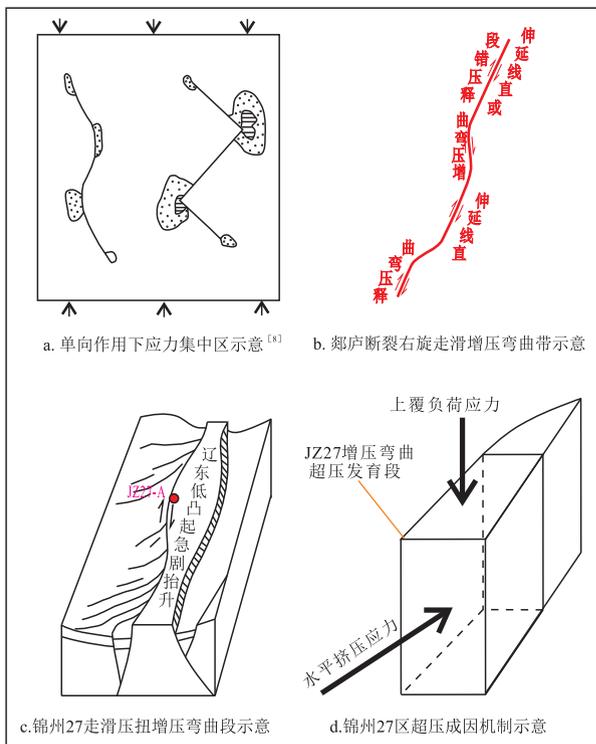


图 5 辽东湾锦州 27 区超压成因机制示意

Fig.5 Genetic mechanism of overpressure in JZ27 area, Liaodong Bay

烈构造挤压应力,破坏了井区先期的压力平衡状态,使得砂岩碎屑颗粒骨架所承受有效压应力急剧增大,甚至达到了其破裂压力,因而在该井沙三段砂岩碎屑颗粒碎裂作用较强。相应的孔隙流体同样承受了水平方向的构造挤压应力,从而出现构造挤压型超压。而一旦砂岩碎屑颗粒碎裂,孔隙流体重新分配,地下平衡得到重新调整,上覆负荷应力不变,地层压力增大,碎裂后的碎屑颗粒所承受的有效压应力随之减小,在构造挤压发生后重新建立平衡,而这种平衡存在的前提就是构造挤压型超压的存在。而该区仅仅在 JZ27-A 井区发育走滑压扭增压弯曲段,邻区均不发育,因而,不存在应力集中区,从而没有水平方向的构造挤压应力引起的异常高压。

### 3 走滑压扭增压带超压定量评价

#### 3.1 评价原理

在沉积盆地中,垂直应力通常是主应力,可以表述为沉积盆地某一深度上覆沉积物的负荷应力( $S_u$ ),可进一步分解为孔隙空间流体承担的压力( $P_u$ ,即地层压力)和由岩石基质骨架承担的有效应力( $\sigma_u$ ),其关系如下式: $S_u = P_u + \sigma_u$ 。

罗晓容<sup>[18]</sup>的基于有限元方法为基础的盆地数

值模型模拟结果表明,构造应力被当作水平的应力分量,可以在水平方向上加速或增强地层的压实作用,影响异常压力的产生和演化,其产生异常压力机制与压实作用机制完全一致。这可以理解为垂向应力机制与水平应力机制对地下某一深度的压实效应是相同的,是可以叠加的。而走滑压扭作用即产生水平方向上的挤压效应。因此,水平方向上的构造挤压应力(走滑压扭水平应力)可以近似分解为孔隙空间流体承担的压力( $P_\Delta$ ,即地层压力水平分量)和由岩石基质骨架承担的水平有效应力( $\sigma_\Delta$ ),其关系如下式: $S_\Delta = P_\Delta + \sigma_\Delta$ 。

因而,在存在侧向构造挤压应力场的条件下,地下某一深度的实际负荷应力  $S$  应为上覆沉积物的负荷应力( $S_u$ )与水平方向上的构造挤压应力( $S_\Delta$ )之和,即: $S = S_u + S_\Delta$ 。

侧向构造挤压应力场消失后,重新建立地层压力平衡,此时的上覆沉积物的负荷应力( $S_u$ )应为实际地层压力( $P$ )与碎裂后的岩石基质骨架承担的有效应力( $\sigma$ )之和,即: $S_u = P + \sigma$ 。

由于超压的存在,实际地层压力( $P$ )要大于  $P_u$ ,同时,上覆沉积物的负荷应力不变,因此,碎裂后的岩石基质骨架承担的有效应力( $\sigma$ )要小于  $\sigma_u$ 。此时,实际地层压力( $P$ )应为孔隙流体所承受垂向上覆负荷应力( $P_u$ )以及承受水平方向上的构造挤压应力( $P_\Delta$ )之和,即: $P = P_u + P_\Delta$ 。

根据以上原理,在已知实际地层压力  $P$  以及孔隙流体所承受垂向上覆负荷应力( $P_u$ )的条件下,可以定量评价孔隙流体所承受的水平方向上构造挤压应力( $P_\Delta$ ),即对走滑压扭增压进行定量评价,即:

$$P_\Delta = P - P_u \quad (1)$$

#### 3.2 JZ27-A 井区走滑压扭增压超压定量评价

沉积盆地中某一深度的上覆负荷应力( $S$ )为: $S = Z\rho g$ ,式中, $Z$  是上覆沉积物厚度, $\rho$  是平均体积密度, $g$  是重力加速度<sup>[6]</sup>。也就是说,在同一地区,地下同一深度,由于其上覆沉积物相似,所以上覆负荷应力应该近似相等。在不存在水平构造挤压应力的条件下,由此产生的岩石基质骨架承受的有效应力以及孔隙流体所承受的应力也是相近的。因而,可以近似认为,在 JZ27-A 井区超压发育段,在接受走滑压扭挤压前所承受的上覆负荷应力所引起的孔隙流体压力与邻区各井值相当。以邻区各井正常压力发育段数据为基础(图 6),建立该区上覆负荷应力所引起的孔隙流体压力与深度关系(式 2):

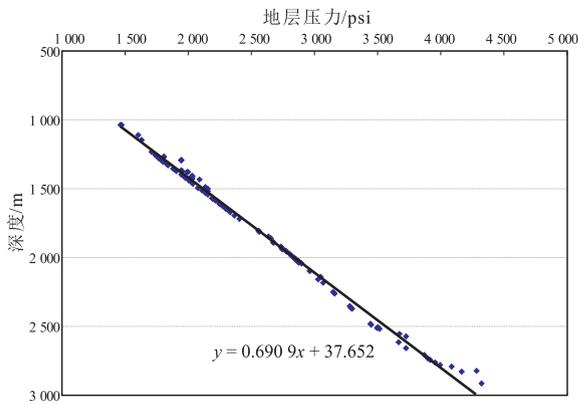


图 6 辽东湾锦州 27 区正常压力与深度关系

Fig.6 Pressure vs. depth in JZ27 area, Liaodong Bay

$$P = (H - 37.652) / 0.6909 \quad (2)$$

式中： $P$  为孔隙流体压力， $H$  为深度。依据该关系式，可以逐一求取 JZ27-A 井超压发育段未发生构造挤压时所承受的上覆负荷应力所引起的孔隙流体压力，即理论正常压力。据式 (2) 可进一步求取走滑压扭增压的超压贡献 (表 2)。从表 2 可以看出，走滑压扭增压弯曲段应力集中所产生的水平构造挤压应力对该区超压发育段 (古近系沙三段) 的贡献在 30% 以上，最高可达 35%。

### 3.3 对油气成藏的影响

根据储层段超压的发育时期与油气大量充注时期的关系，储层超压对油气成藏主要存在如下 2 个方面的影响：第一，超压发育期晚于充注期，如果超压是由于生烃或油气充注形成，那么超压的存在有利于油气的保存；如果超压是由于构造挤压或其他机制产生，那么超压的存在可以诱发上覆盖层破裂，导致油气发生逸散，从而破坏油气藏的有利保

表 2 辽东湾锦州 27 区走滑压扭增压超压贡献

Table 2 Contribution of strike-slip on pressure increase in JZ27 area, Liaodong Bay

深度/m	实测压力 $P$ /psi	压力系数	理论正常压力 $P_v$ /psi	构造挤压增量 $P_{\Delta}$ /psi	构造挤压对超压的贡献/%
1 845	4 032.5	1.54	2 615.9	1 416.6	35
1 891	4 157.2	1.55	2 682.5	1 474.7	35
1 986.5	4 037.6	1.43	2 820.7	1 216.9	30
1 988	4 037.9	1.43	2 822.9	1 215.0	30
1 989	4 030.9	1.43	2 824.4	1 206.5	30
1 990	4 032.2	1.42	2 825.8	1 206.4	30
2 061	4 513.6	1.54	2 928.6	1 585.0	35
2 062	4 530.6	1.55	2 930.0	1 600.6	35
2 063	4 535	1.55	2 931.5	1 603.5	35
2 329	5 121.4	1.55	3 316.5	1 804.9	35
2 332	4 857.4	1.46	3 320.8	1 536.6	32

存。第二，超压发育期早于充注期，则可以阻碍油气的畅通入注，极大影响油气成藏<sup>[19]</sup>。

辽中凹陷大量生排烃期发生在东营末期—馆陶早期<sup>[20]</sup>，而 JZ27-A 井区沙三段储层超压伴随着东三段末期—东二下时期该区郯庐断裂的强烈右旋走滑而生成，因而其形成时间远早于大量生排烃期，形成相对独立的压力封存箱，不利于油气的运移充注成藏。从超压发育段所取的包裹体测试情况来看，受构造挤压型超压发育影响，油气包裹体发育包裹体个体细小、单个颗粒数较少，表明油气充注期受到了极大的阻力，从而导致油气注入量小。但 GOI 测定值较高 (个别达到了 30%)，表明辽中凹陷的油气充注能力极强。因而储层超压的早期形成与后期良好保存，极大地阻碍了后期油气的畅通注入。另外，由于受到强烈构造挤压应力挤压破坏，沙三段砂岩颗粒遭到了严重破坏，多数表现为颗粒碎裂、裂纹等等，后期溶蚀充填了这些裂缝及裂纹，大大降低了储层内的孔渗性，从而导致油气难以顺利进入。

## 4 结论

(1) 郯庐断裂走滑压扭增压带超压主要特征为：异常高压且顶部具有封隔层；发育范围小，仅在局部地区发育 (走滑压扭增压弯曲带) 且与走滑压扭活动期密切相关。

(2) 郯庐断裂走滑压扭增压带超压形成机制为：走滑应力在走滑增压弯曲段形成局部应力集中区，形成水平方向上的构造挤压应力，而这种水平挤压应力的存在破坏了原有的正常压实下的地层压力平衡状态，从而产生构造挤压型超压，达到新的地层压力平衡。

(3) JZ27-A 井区古近系沙三段超压发育带，其走滑压扭增压超压贡献达到了 30%~35%。储层超压的早期形成远早于大量生排烃期，由于上覆厚层泥岩封隔层的存在，超压得到了良好的保存，极大的阻碍了后期油气的畅通注入。同时，构造挤压应力对储层的破坏也导致了油气难以顺畅进入。

(4) 应当重视郯庐断裂带走滑压扭增压带超压的研究，只要有走滑压扭增压弯曲段存在，就有可能存在局部的构造挤压型超压 (如 JZ27-A 井区)。实际勘探研究中，应该在理清超压形成发育时期与大量生排烃之间关系的基础上，有效研究其对油气充注成藏的影响，从而有效规避勘探风险。

### 参考文献：

[1] 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.
- Zha Ming,Zhang Weihai,Qu Jiangxiu.The character and origin of overpressure and its explorational significance in Junggar basin[J]. Petroleum Exploration and Development,2000,27(2):31-35.
- [2] 宋亮,张营革,牟敏,等.陆相断陷盆地超压系统下的油气运聚:以车镇凹陷车西地区为例[J].油气地质与采收率,2014,21(1):28-32.
- Song Liang,Zhang Yingge,Mou Min,et al.Hydrocarbon migration and accumulation in overpressure system of continental rifted basins—case study of Chexi area, Chezhen depression [J].Petroleum Geology and Recovery Efficiency,2014,21(1):28-32.
- [3] 刘华,王鑫,徐昊清,等.淮北凹陷地层压力演化特征及其对油气分布的影响[J].石油实验地质,2014,36(2):160-164.
- Liu Hua,Wang Xin,Xu Haoqing,et al.Characteristics of formation pressure evolution and impact on petroleum distribution in Weibei Sag[J].Petroleum Geology & Experiment,2014,36(2):160-164.
- [4] 谭绍泉,曾治平,宫亚军,等.准噶尔盆地腹部超压控制烃、储演化与油气充注过程[J].断块油气田,2014,21(3):287-291.
- Tan Shaoquan,Zeng Zhiping,Gong Yajun,et al.Control of abnormal overpressure on hydrocarbon reservoir evolution and hydrocarbon filling process in central of Junggar Basin[J].Fault-Block Oil and Gas Field,2014,21(3):287-291.
- [5] 吴青,许化政,周新科,等.鄂尔多斯盆地上古生界气藏特征与成藏史研究[J].石油实验地质,2013,35(5):505-510.
- Wu Qing,Xu Huazheng,Zhou Xinke,et al.Petroleum accumulation feature and history of Upper Paleozoic,Ordos Basin[J].Petroleum Geology & Experiment,2013,35(5):505-510.
- [6] 郝芳.超压盆地生烃作用动力学与油气成藏机理[M].北京:科学出版社,2005.
- Hao Fang.Kinetics of hydrocarbon generation and mechanisms of petroleum accumulation in overpressured basins [M]. Beijing: Science Press,2005.
- [7] 曹华,龚晶晶,汪贵锋.超压的成因及其与油气成藏的关系[J].天然气地球科学,2006,17(3):422-425.
- Cao Hua,Gong Jingjing,Wang Guifeng.The cause of overpressure and it's relationship with reservoir forming[J].Natural Gas Geoscience,2006,17(3):422-425.
- [8] 郝雪峰.东营凹陷沙三—沙四段砂岩储层超压成因与演化[J].石油与天然气地质,2013,34(2):167-173.
- Hao Xuefeng.Overpressure genesis and evolution of sandstone reservoirs in the 3rd and 4th members of Shahejie Formation,the Dongying Depression[J].Oil & Gas Geology,2013,34(2):167-173.
- [9] 刘曦翔,杨正茂,丁晓琪,等.张家垛油田阜三段异常压力特征分析[J].断块油气田,2014,21(2):191-195.
- Liu Xixiang,Yang Zhengmao,Ding Xiaoqi,et al.Analysis on abnormal pressure characteristics of the third member of Funing Formation in Zhangjiaduo Oilfield[J].Fault-Block Oil and Gas Field,2014,21(2):191-195.
- [10] 王晓梅,赵靖舟,刘新社,等.鄂尔多斯盆地东部上古生界现今地层压力分布特征及成因[J].石油与天然气地质,2013,34(5):646-651.
- Wang Xiaomei,Zhao Jingzhou,Liu Xinshe,et al.Distribution characteristics and genesis of present formation pressure of the Upper Paleozoic in the eastern Ordos Basin[J].Oil & Gas Geology,2013,34(5):646-651.
- [11] 张春林,庞雄奇,田世澄,等.天然气成藏过程中地层水相态变化:以鄂尔多斯盆地上古生界为例[J].石油与天然气地质,2013,34(5):640-645.
- Zhang Chunlin,Pang Xiongqi,Tian Shicheng,et al.Phase state changes of formation water in gas accumulation process;a case study from the Upper Paleozoic,Ordos Basin[J].Oil & Gas Geology,2013,34(5):640-645.
- [12] 石万忠,陈红汉,何生.库车坳陷构造挤压增压的定量评价及超压成因分析[J].石油学报,2007,28(6):59-65.
- Shi Wanzhong,Chen Honghan,He Sheng.Quantitative evaluation on contribution of structural compression to overpressure and analysis on origin of overpressure in Kuqa Depression[J].Acta Petrolei Sinica,2007,28(6):59-65.
- [13] 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,2006,23(2):107-114.
- Dai Shaowu,He Ziai,Wang Jinyi,et al.Intension of bulk sealing off system[J].Oil & Gas Geology,2006,23(2):107-114.
- [14] 朱伟林,米立军,龚再升,等.渤海海域油气成藏与勘探[M].北京:科学出版社,2009.
- Zhu Weilin,Mi Lijun,Gong Zaisheng,et al.Petroleum exploration and reservoir of Bohai Sea[M].Beijing:Science Press,2009.
- [15] 杨贵丽.青东凹陷走滑构造对油气成藏的控制作用[J].油气地质与采收率,2014,21(5):18-21,26.
- Yang Guili.The strike slip structure and its influences on the formation of petroleum reservoir in Qingdong sag[J].Petroleum Geology and Recovery Efficiency,2014,21(5):18-21,26.
- [16] 夏新宇,曾凡刚,宋岩.构造抬升是异常高压的成因吗? [J].石油实验地质,2002,24(6):496-500.
- Xia Xinyu,Zeng Fangang,Song Yan.Is tectonic uplifting the genesis of abnormal high pressure? [J].Petroleum Geology & Experiment,2002,24(6):496-500.
- [17] 朱志澄.构造地质学[M].2版.武汉:中国地质大学出版社,1999.
- Zhu Zhicheng.Structural geology[M].2nd ed.Wuhan:China University of Geosciences Press,1999.
- [18] 罗晓容.构造应力超压机制的定量分析[J].地球物理学报,2004,47(6):1086-1093.
- Luo Xiaorong.Quantitative analysis on overpressuring mechanism resulted from tectonic stress[J].Chinese Journal of Geophysics,2004,47(6):1086-1093.
- [19] 张启明.强超压储层天然气成藏条件[J].科学通报,2002,47(增刊):77-83.
- Zhang Qiming.Pooling condition of gas in reservoir with stress-overpressure[J].Chinese Science Bulletin,2002,47(Supplement):77-83.
- [20] 周心怀,刘震,李淮莲.辽东湾断陷油气成藏机理[M].北京:石油工业出版社,2009.
- Zhou Xinhuai,Liu Zhen,Li Weilian.Petroleum accumulation mechanisms of Liaodongwan rift [M].Beijing:Petroleum Industry Press,2009.