

# 陕甘宁盆地西缘泥岩压实研究

陈荷立 王震亮

(西北大学, 西安 710069)

本文以泥岩压实研究为基础, (1) 计算了陕甘宁盆地西缘白垩系剥蚀厚度和原始沉积厚度, 并对不同地区 and 不同断层在白垩纪的活动性进行了比较; (2) 根据计算出的流体压力, 探讨了研究区过剩压力纵向分布和水平分布的特征; (3) 以过剩压力分布为基础, 参考地层水矿化度、水型等资料, 初步分析了已知油井与水动力条件间的关系。

**关键词** 陕甘宁盆地 泥岩压实 过剩压力 水动力条件

**第一作者简介** 陈荷立 女 60岁 教授 石油地质

研究区北起陶乐, 南至镇原, 东抵定边-华池-庆阳, 西抵灵武-平凉, 在构造上主要属于陕甘宁盆地西缘南北向逆冲带东部和天环坳陷。

本次研究根据从测井曲线上获得的泥岩声波时差值, 绘制了泥岩压实曲线 90 多条 (其中较好的有 53 条), 并在对比分析这些压实曲线基本特征的基础上, 对研究区构造活动、地下流体压力变化及其与油气分布的关系作了一些探索。

## 一、构造活动信息

### (一) 下白垩统剥蚀厚度

理论上, 剥蚀区的外推地表声波时差值必然小于未遭剥蚀区, 其减小的幅度取决于该区压实作用的速率, 以及相对剥蚀量或抬升量。因此, 利用外推地表声波值及正常压实带斜率, 即可推算任一地区的剥蚀量。

本区下白垩统压实曲线少, 且一般较短, 依靠它们很难得出比较准确的白垩纪晚期的剥蚀量。白垩系与其下伏地层 (主要为侏罗-三叠系) 之间虽有沉积间断存在, 且两者正常压实趋势斜率不同, 但大量资料表明, 该间断期后的巨厚下白垩统沉积, 已使原被剥蚀的地层处于超补偿状态。间断前地层在补充压实作用下, 压实程度已调整到与上覆白垩系沉积后的埋深相一致。因此, 利用前白垩系的正常压实趋势求出的剥蚀量应属于白垩纪晚期, 而并非侏罗纪晚期。

本次研究中, 选取环 20 井外推地表声波时差  $600 \mu\text{s}/\text{m}$  作为未剥蚀区的标准, 然后利用前白垩系的正常压实趋势, 算得了白垩纪晚期研究区的剥蚀厚度 (图 1)。由该图可见, 研究区在晚期燕山运动后曾普遍隆起遭受剥蚀。其中剥蚀量最小的地区位于环县-镇原一线以西 (即

天环坳陷轴部的南段),由此向东西两侧递增。这说明逆冲带和陕北斜坡在白垩纪后期相对隆起较强。横山堡—马家滩一带剥蚀量亦较大,特别是马家滩,剥蚀量可达 900 m。这说明该区在白垩纪后期曾发生强烈隆起。横山堡地区剥蚀较少,但沙亥庙以西地区下白垩统已剥蚀殆尽,故该处一些井的剥蚀量并非全属白垩系。

## (二) 下白垩统原始沉积厚度

在剥蚀量计算的基础上,编出了下白垩统恢复厚度图,亦即原始沉积厚度图(图 2)。该图表明,研究区下白垩统自西向东增厚,前峰逆冲断层明显控制了沉积厚度。沉积坳陷位于哈拉哈腾—大水坑—沙井子间。定边—环县间有一平缓的南北向隆起,沉积较薄。横山堡及其以北地区在早白垩世已经隆起,而马家滩地区当时还是一个沉降较深的地区。

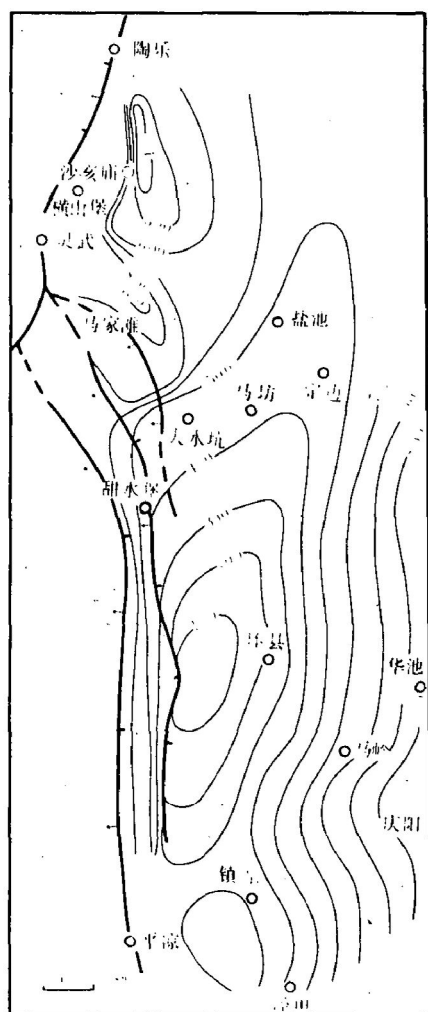


图 1 白垩纪后期剥蚀厚度图

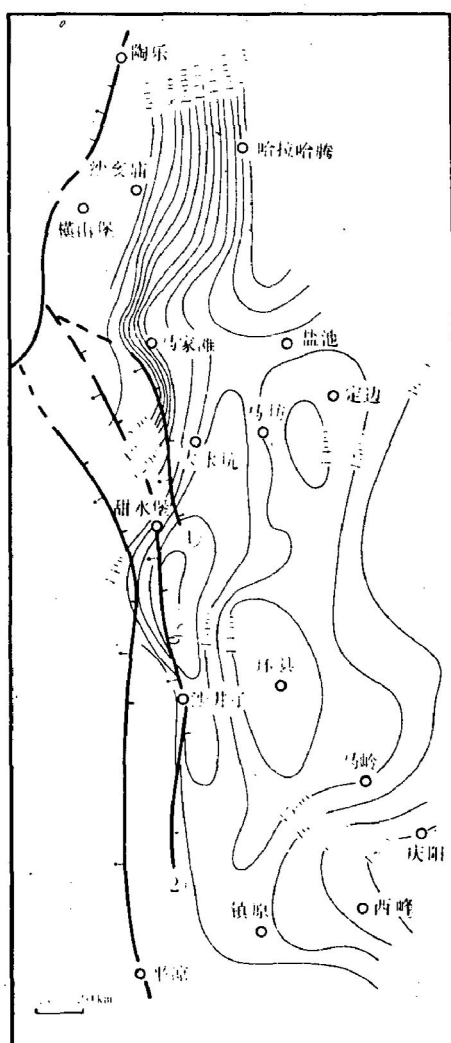


图 2 下白垩统恢复厚度图

①—摆宴井断层, ②—惠安堡—沙井子断层

综合考虑图 1 与图 2, 可以认为在整个白垩纪时期, 横山堡地区属于相对稳定区, 下白垩统沉积薄, 后期剥蚀亦不很大。马家滩与西峰—庆阳一带属于相对活动区, 下白垩统沉积厚, 后

期剥蚀亦较大。盐池-大水坑-沙井子以东属于相对稳定下沉区,其下白垩统沉积厚,而后期剥蚀较少。定边-环县一带亦可划归相对稳定下沉区,不过,其稳定程度显然不如前者。

另外,摆宴井断层中段在白垩纪早期活动性应较大,因为其两盘下白垩统沉积厚度有较大差别。其南段活动性则较弱。到白垩纪中晚期,该断层的活动性已全部减弱,以致断层两盘的剥蚀量相差无几。此时该区剥蚀量最大的地带已向断层前方推移。惠安堡-沙井子断层在整个白垩纪看来始终有一定活动。就现有资料看,甜水堡以南部分的活动性较大,因为下白垩统沉积厚度与剥蚀厚度在断层两盘存在较大差别。

## 二、地下流体压力分布的信息

目前利用泥岩压实曲线获取流体压力值最常用的办法是平衡深度法。平衡深度法的依据是泥岩的压实程度,以及在上覆负荷压力一定时控制压实程度的有效应力与孔隙流体压力间互为消长的关系。根据压实作用的不可逆性,平衡深度法计算结果,应代表处于最大埋深时的泥岩压力。研究区各组地层于下白垩统深积后达最大埋深,尔后全区普遍抬升遭受剥蚀。但由于剥蚀后再沉积的厚度远未超过剥蚀量,因此本区由泥岩压实曲线得出的流体压力,所反映的应是下白垩统沉积末各层组泥岩压力的最大值。其次,大量事实表明,尽管紧邻砂、泥岩的压力在大多数情况下并不相等,往往是泥岩高于相邻砂岩,但它们同步变化的规律却十分明显。另外考虑到砂岩异常高压的孕育条件不如泥岩,而与外界进行压力调整的能力高于泥岩,而且压力调整作用永远不会产生高压与低压的反向等情况,所以上述由泥岩压实曲线得出的压力分布,亦可代表相邻砂岩层古压力的相对变化。

流体流动的总趋势是恢复静水压力平衡。换句话说,流体在静水压力平衡条件下,尽管各地区或各深度具有压力差,但并不会引起流动。只有出现过剩压力,即超过静水压力的压力(正值或负值)时,流体始有从高过剩压力向低过剩压力流动的趋势。所以实际上控制流体流动的应是流体的过剩压力,而并非其压力。

本次研究中共算得单井过剩压力剖面51条,编制联井过剩压力剖面6幅,有关层段过剩压力平面图4幅。分析对比这些图幅,可以得出以下一些认识。

### (一) 单井过剩压力分布特征

总体看来,所有单井过剩压力剖面基本上均由3带组成,即上部基本保持静水压力的正常压力带,中部由正常压力向高过剩压力递增的过渡带,以及下部基本处于最高过剩压力的高压异常带。然而,根据高压异常带中过剩压力的起伏,看来还可将研究区过剩压力剖面划分为3种类型。

I类:可取免西1井为代表。该曲线的特点是在高压异常带中存在两个过剩压力峰值区。它们分别位于下三叠统顶部和上二叠统底部附近。单井过剩压力曲线中的峰值区有如地面上的分水岭,所以从水动力条件考虑,这类曲线的高压异常带基本上可划分为两段。

II类:可举海1井为代表。这类曲线的特点是在高压异常带中出现3个过剩压力峰值区。新增峰值区在层位上属于上三叠统底部附近,从而使整个高压异常带呈现三段式。

III类:可举庆深2井为代表。这类曲线的特点是高压异常带中的过剩压力峰值区表现不明显。

以上3类曲线过剩压力纵向分布的特征表明,研究区共有3个具相对高过剩压力的层位,

它们大致分布在上三叠统底部、下三叠统顶一底部及上二叠统底部附近。另外,据少量涉及石炭系的压力曲线看,研究区西部石炭系很可能是本区第4个具相对高过剩压力的层位。

## (二) 联井过剩压力剖面特征

根据所编制的联井过剩压力剖面,横山堡地区白兔以西主要为Ⅰ类曲线分布区(平面位置参见图3),仅发育有下三叠统一上二叠统的两个高过剩压力峰值。白兔以东,直至高沙窝一带,为Ⅱ类曲线分布区,除上述峰值区外,还发育有上三叠统底界附近的峰值区。在研究区南部,根据现有庆深1与庆深2过剩压力剖面的情况,似应是Ⅲ类曲线分布区。本区其他各井曲线均反映了上三叠统底部附近存在过剩压力峰值。而更深层的情况,限于井深,尚不能得出确切结论。大水坑—马坊一带缺乏钻达古生界的深井,现有曲线仅反映可能有上三叠统底部峰值。

总之,就现有资料看来,在研究区大部分地区,下侏罗—上三叠统属于过剩压力随深度不断增大的压力递增带。中下三叠统属于高压异常带中的相对低过剩压力段,不过其已知分布范围仅限于横山堡地区东部至高沙窝一带。

下三叠统底—上二叠统则属于高压异常带中的

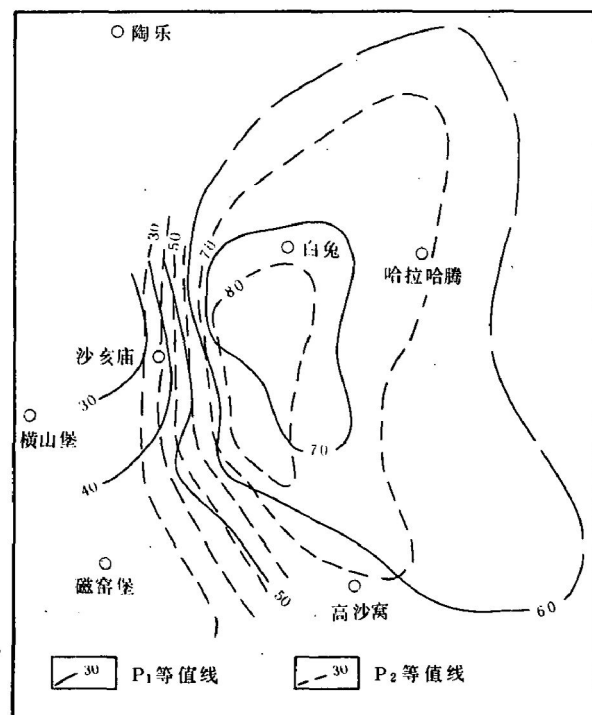


图3 二叠系过剩压力平面图

相对高过剩压力段,它除存在于横山堡西部地区外,还与上述低过剩压力段伴生。此段之下为下二叠统的另一个相对低过剩压力段,以及可能存在的石炭系的相对高过剩压力段。马家滩—大水坑以及庆阳—环县一带的高压异常带是否也有可能划分出上述4段,还有待进一步证实。

另外值得提到的是,横山堡西部以及惠安堡—沙井子断裂以西个别井区,由于异常压力起始层位较深,故其压力递增带也与一般地区不同,属于中下三叠统及其以下地层。

## (三) 过剩压力平面分布特征

为了解过剩压力的平面变化,本次研究中根据所得平均值共编制了4幅过剩压力等值线图。

### 1. 二叠系

上、下二叠统的过剩压力平面图(图3)在形式上极为相似。它们均表现为在白兔西南地区具最高过剩压力值,由此向四周降低。同时,该图还表明,过剩压力梯度西部较东部大。

### 2. 上三叠统

上三叠统的过剩压力平面图(图4)显示从西向东过剩压力递减的总趋势,但在此背景上存在两个相对高值区和两个相对低值区。前者位于哈拉哈腾以及大水坑—马坊至环县西北,其中以大水坑—马坊一带过剩压力值最高。后者位于马家滩以及镇原—西峰一带。

### 3. 下侏罗统

下侏罗统过剩压力的发育远不如上三叠统(图4),仅在哈拉哈腾-高沙窝-大水坑-环县以西一带有过剩压力存在。过剩压力值亦普遍低于上三叠统,以大水坑附近过剩压力较高。

以上过剩压力平面图的对比表明,研究区过剩压力的发育在地区上有一定继承性。横山堡地区整个二叠系均于西部发育有较高过剩压力,上三叠统中仍有较高过剩压力存在,只是高过剩压力中心已东移。下侏罗统高过剩压力中心更向东南移至高沙窝一带,白兔西北地区已全无过剩压力存在。大水坑-马坊以及环县西北一带,虽然上三叠统与下侏罗统中均有较高过剩压力,但从数值上看,下侏罗统中的过剩压力显然不如上三叠统。马家滩以及环县以东镇原-西峰一带在上三叠统与下侏罗统中始终保持着较低的过剩压力。

### 三、水动力条件与含油气性的关系

迄今为止,研究区已找到了红井子、马坊、摆宴井、油房庄、大水坑、东红庄、李庄子、马岭与马家滩等9个中生界油田以及刘家庄、胜利井两个古生界气田。另外,还找到了一些工业油气流地区。

根据泥岩压实曲线得出的过剩压力相对分布,大致反映了研究区在中生代末总体抬升接受剥蚀前的水动力条件。在此后漫长的地质时期中,主要由于中生代末的严重剥蚀作用,原有水动力条件无疑发生了一定的变化。目前砂岩储集层的实测压力大多属静水压力,可以作为水动力条件已经变化的一个证据。另外,地层水矿化度和水型在平面上的分布,也是现在水动力条件的一个极好反映。

为了说明油气分布与原有水动力条件及其演化作用的关系,我们进行以下一些比较。

#### (一) 各地区油气分布与水动力条件的关系

##### 1. 横山堡地区

本区已知气藏和产气井主要分布在西部。西部的过剩压力曲线类型属I类,即在高压异常带中存在两个过剩压力峰值区。含气层主要位于第2个过剩压力峰值之下的相对低过剩压力段中,时代属下二叠统下石盒子组与山西组。另外,在第1、2两个峰值间的低压段(上石盒子组)中也找到了少量气。在平面上已知含气区主要分布于相应层段高过剩压力中心以西的压力递减带中(图5)。

本区地下水的矿化度明显从西向东向着高过剩压力中心递增,等值线呈向西凸出的弧形,水型在相对低矿化度区主要属 $\text{NaHCO}_3$ 型,个别地区有 $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 型,在相对高矿化度区主要属

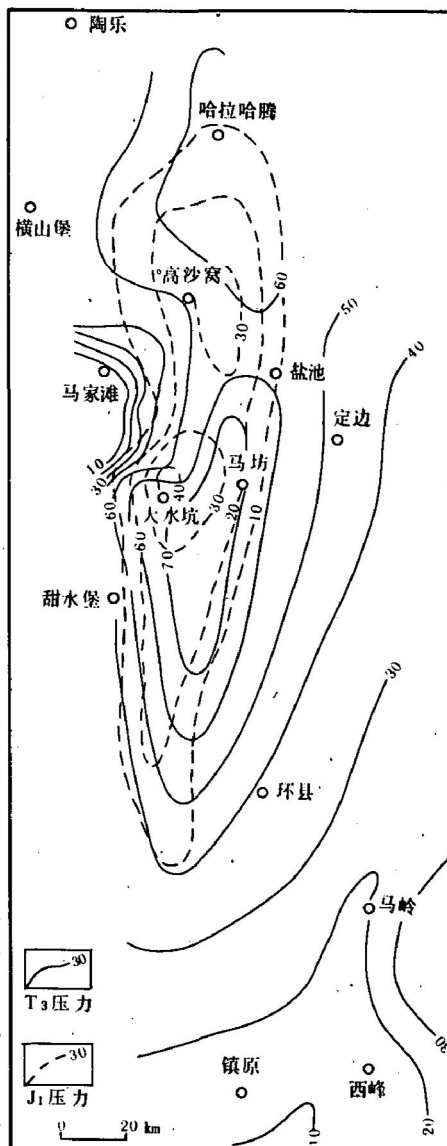


图4 上三叠统与下侏罗统过剩压力平面图



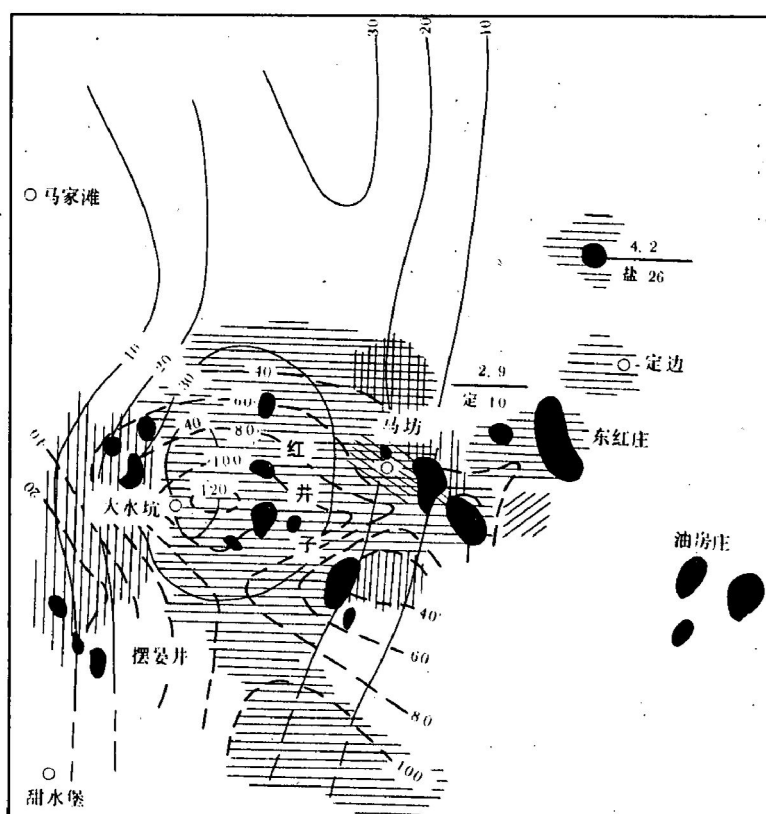


图6 马家滩-大水坑地区主力油层油气分布与下侏罗统过剩压力、矿化度及水型间的关系

### 3. 环县-庆阳地区

本区过剩压力曲线绝大部分均较短。目前本区已知含油气层位主要分布在正常压力带中，属下侏罗统。在其下过渡带中也见到了油气，层位属上三叠统。上三叠统的油流井多分布在过剩压力的低值带，特别是其中产量相对较高的井，看来与过剩压力等值线的低压拐角处关系密切（图7）。

本区下侏罗统已无过剩压力存在，同时缺乏有关地下水矿化度等的图件，因此，其他有关问题暂无法讨论。

#### （二）几点认识

通过以上对比，对于研究区油气分布与水动力的关系，可以得出如下一些认识。

（1）在过剩压力剖面的过渡带及高压异常带中为高压峰值封隔的各段中，均可有含油气层存在，但是只有在过渡带或高压异常带各段本身同时有生油层存在时，才可获得较为丰富的油气，例如横山堡地区位于高压异常带同一段中的主要产气层（下石盒子组）与主要生气层（山西组），马家滩地区位于同一过渡带中的主要产油层（下侏罗统）与主要生油层（上三叠统），均可作为这方面极好的证明。

（2）在正常压力带中亦可有产油气层出现，但只有在其下过渡带中有生油层作为油源时，才有较为丰富的油气产出。环县-庆阳地区可以作为这方面的实例。那里的主要产油层为位于正常压力带中的下侏罗统，而该带之下即为包含有主要生油层上三叠统的过渡带。



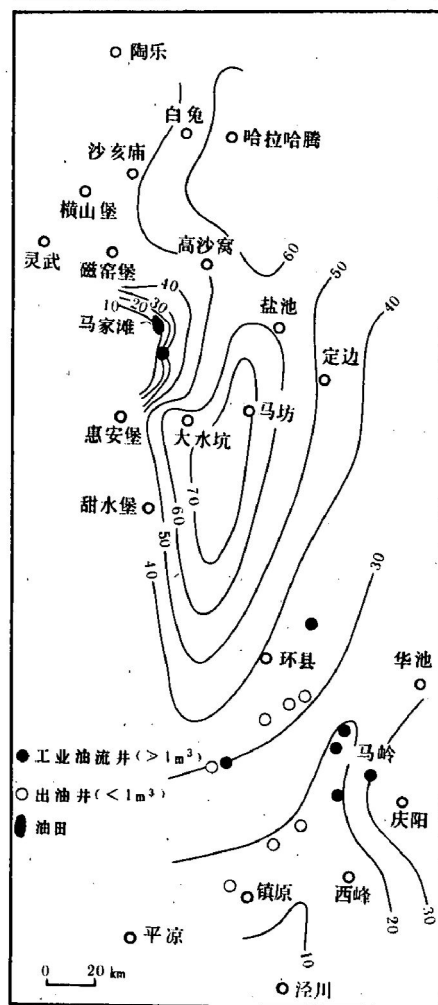


图7 上三叠统已知油气分布与  
过剩压力的关系

(3)过剩压力峰值区常可形成极好的盖层,从而在其下形成较为丰富的油气聚集。这一点对于天然气的聚集尤为重要。横山堡地区气的聚集看来与其上的上二叠统底部的峰值区有密切关系。由此考虑,该区白兔以东直至高沙窝一带亦应有上古生代气存在的可能。

(4)研究区横山堡一带的古生代气、马家滩以及环县-庆阳一带的上三叠统油,在平面分布上与过剩压力有着明显关系。它表明过剩压力低值区应是油气运移的指向区。其中特别值得注意的是等值线的低压转角处,应具多方供油的优越条件(如马家滩与马岭)。

(5)大水坑-马坊一带下侏罗统的油气分布,与本层过剩压力的平面变化似无明显关系。这种情况的形成很可能是由于:①该带地处下侏罗统与上三叠统高过剩压力中心附近,流体侧向沟通条件较差;②下侏罗统与上三叠统同处于过渡带中,垂向串通条件较好。因此该带各地含油丰富程度,主要取决于就近生油层的好坏。

(6)研究区早白垩世末的剥蚀对水动力条件产生了一定的改造。不过,其影响并不大,已知油气聚集主要受原有水动力条件的控制。但目前还不能完全排除它对一些油气聚集位置的影响,特别是对横山堡地区西部的影响。

本课题研究期间曾得到长庆油田研究院各级领导及有关同志们的大力支持,特此表示感谢。参加本课题基础资料收集与整理的还有杨斌、唐玉龙、张新峰、景士宏等同志。



## **A STUDY OF MUDSTONE COMPACTION IN THE WEST MARGIN OF SHAANXI-GANSU-NINGXIA BASIN**

Chen Heli      Wang Zhenliang

*(Northwest University)*

### **Abstract**

Based on the study of mudstone compaction, 1. the erosion and the deposit thickness of the Cretaceous in Shaanxi-Gansu-Ningxia Basin are calculated and the activity for different places and different faults in the Cretaceous are contrasted; 2. the characteristics of excessive pressure both in vertical and horizontal distribution are discussed according to the fluid pressure calculated; 3. the relation between known oil-bearing situation and hydrodynamic condition were analysed on the basis of excessive pressure distribution and referring to the water salinity and type.