

# 在地质断层构造中地应力状态演变研究

孙宗颀<sup>(1)</sup>张国报<sup>(2)</sup>张景和<sup>(3)</sup>

(1) 中南工业大学 (2) 中原油气田股份有限公司采油四厂 (3) 中国石油天然气集团公司石油勘探开发科学研究院

## 前言

在地质断层应力分析中, 垂向应力、垂直于断层迹线(走向)的水平应力和平行于断层迹线的水平应力与三个主应力基本对应。断层性质不同, 其对应情况不同(见图1)。断层形成时的断面倾角, 正断层大于 $45^\circ$ , 一般 $60^\circ \sim 65^\circ$ ; 逆断层小于 $45^\circ$ , 逆冲断层一般 $20^\circ \sim 25^\circ$ , 逆掩断层小于 $10^\circ$ <sup>[1]</sup>。正断层开始形成时, 最大主应力( $\sigma_1$ )是垂向应力( $\sigma_v$ ), 最小主应力( $\sigma_3$ )是垂直于断层迹线(走向)的水平应力( $\sigma_{h\perp}$ ), 中间主应力( $\sigma_2$ )是平行于断层迹线的水平应力( $\sigma_{h\parallel}$ ); 逆断层开始形成时, 最小主应力是垂向应力, 最大主应力是垂直于断层迹线的水平应力, 中间主应力是平行于断层迹线的水平应力<sup>[1]</sup>。

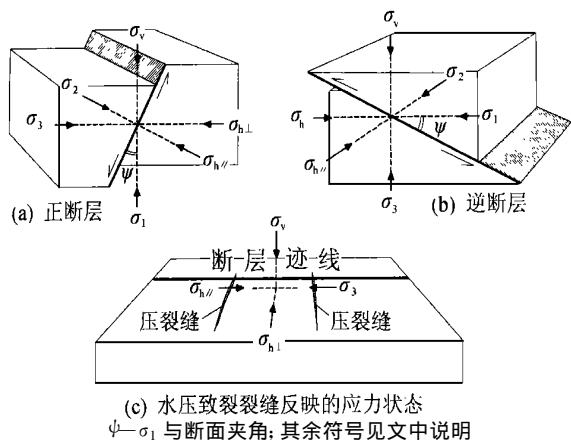


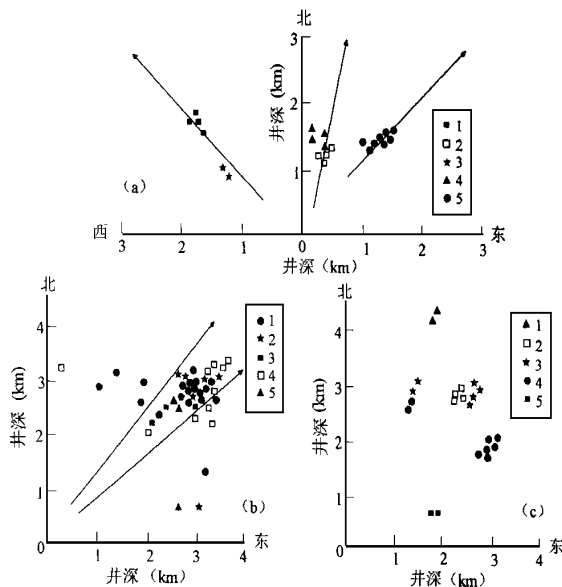
图1 断层应力分布与断层方向的关系示意图

水压致裂的理论指出, 水力压裂裂缝总是垂直于最小主应力方向的(见图1c)。国内86个断块油气田近千口钻井水压致裂试验所测地应力结果<sup>①</sup>表明, 无论这些油田的断层是正断层还是逆断层, 压裂裂缝方向基本是垂直(或近于垂直)于断层走向的, 即最小主应力均是平行于断层迹线的水平应力。这与传统观点相矛盾。

本文在简单介绍几个油田测试结果的基础上, 分析这一矛盾。

## 断层走向与天然裂缝分布规律

松辽盆地储油层主要是白垩系, 渤海湾盆地大部分油田的储油层是第三系。这两个盆地的断层以正断层为主。松辽盆地以吉林省前郭县至黑龙江省安达市一线为界, 其以东的油田(扶余、新民、头台、榆树林、朝阳沟等)断层走向为北至北东 $40^\circ$ (象限角, 后文均如此), 以西的油田(大安北、乾安、新立、新站、萨尔图、喇嘛甸、龙虎泡等)断层走向为北至北西 $50^\circ$ 。该盆地储集层天然裂缝方向与断层走向基本一致; 在上述界线以东的油田, 天然裂缝方向为北至北东 $50^\circ$ , 以西大部分为北西 $45^\circ$ 左右(个别为北西 $20^\circ$ )(见图2a)。



油田名称: (a) 松辽油区, 1—大安北, 2—新民, 3—喇嘛甸, 4—朝阳沟, 5—阿南(二连盆地); (b) 渤海湾油区, 1—留17断块, 2—大芦湖, 3—文东, 4—大港821断块, 5—牛心屯; (c) 新疆油区, 1—解放渠东, 2—风城, 3—鄯善, 4—丘陵, 5—克拉玛依七区

图2 部分油田天然裂缝方向统计图

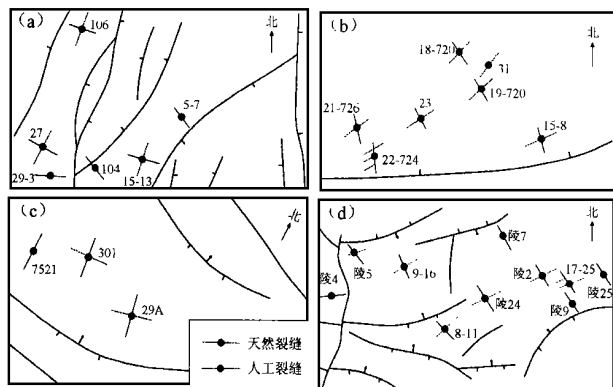
① 张景和、孙宗颀, 地应力、裂缝测试技术在石油勘探开发中的应用(待出版), 1999年。

渤海湾盆地的济阳坳陷主断层走向平均约为北东 $50^{\circ}$ ;其余坳陷主断层走向为北东 $40^{\circ}$ 左右,有较明显的受南西方向挤压力作用的特征,在挤压力受到燕山阻挡的地区,走向即转为北东至北东东方向。该盆地5个第三系油区(华北、大港、辽河、胜利和中原)36个断块油田的天然裂缝分布方向为北东 $20^{\circ}$ 至北东 $80^{\circ}$ ,将近80%裂缝的方向是北东 $42^{\circ}\sim 55^{\circ}$ (见图2b),与主断层走向(北东 $40^{\circ}\sim 50^{\circ}$ )基本平行,且两者形成于同一地质年代,通常在现今地应力作用下处于闭合状态。

在新疆,克拉玛依油区储油层主要是侏罗系至二叠系(埋深1500~3000m),吐哈油区侏罗系储油层埋深2800~3000m,塔里木油区三叠系至石炭系储油层埋深3500~5000m。这3个油区的断层及天然裂缝发育都与逆冲推覆构造活动有关。在克拉玛依油区,七区油田天然裂缝方向为北东 $75^{\circ}$ 左右,风城油田约为北东 $40^{\circ}$ ;在吐哈油区,天然裂缝方向鄯善油田多为北东 $45^{\circ}$ (少数为北东 $25^{\circ}$ ),丘陵油田约为北东 $60^{\circ}$ (见图2c)。新疆地区各断块油田天然裂缝方向虽不相同,但均与本油田逆断层走向大致平行。

## 人工压裂裂缝方向分布规律

在大庆萨尔图和喇嘛甸地区,油田开发初期(20世纪60年代)人工压裂的裂缝均为水平裂缝(井深800~1200m);在近20年的开发过程中,由于储集层孔隙压力下降,压裂产生的人工裂缝逐渐转为垂直缝,近年来大庆外围油田及国内其它油田的人工压裂裂缝(井深300~3300m)基本都是垂直裂缝,其平面分布见图3。



(a) 松辽盆地新民油田; (b) 渤海湾盆地大芦湖油田;  
(c) 准噶尔盆地克拉玛依七区油田; (d) 吐哈盆地丘陵油田  
图3 天然裂缝和人工压裂裂缝方向平面分布图

松辽盆地人工裂缝方向大致垂直于断层走向,朝阳沟油田和新民油田人工裂缝为东西向至北西 $10^{\circ}\sim 40^{\circ}$ ,断层走向为北至北东 $40^{\circ}$ (见图3a),大安北油田和

喇嘛甸油田人工裂缝为北东向,断层走向为北西 $42^{\circ}\sim 47^{\circ}$ 。渤海湾盆地人工裂缝大部分为北西向,与北东向的天然裂缝近于正交,例如胜利油区大芦湖油田(见图3b)。在准噶尔盆地,克拉玛依七区油田逆冲断层走向为北西至东西向,人工裂缝为南北向至北东 $10^{\circ}\sim 40^{\circ}$ (见图3c);风城油田逆掩断层走向为北东 $45^{\circ}$ ,断层下盘和上盘的人工裂缝方向都是北西 $45^{\circ}$ 左右。吐哈盆地丘陵油田在逆掩断层的上盘,人工裂缝方向为北西 $45^{\circ}$ 左右。塔里木盆地解放渠东油田三叠系逆冲断层走向约为北东 $20^{\circ}$ ,人工裂缝方向为北西 $60^{\circ}\sim 80^{\circ}$ (见图3d)。

## 传统解释与测量结果矛盾之分析

综上所述,无论是正断层体系或逆断层体系中的油田,人工压裂裂缝都垂直于或大致垂直于断层走向,即最小主应力平行于断层迹线方向,与前述断层与应力分布关系的传统解释似乎存在矛盾。其实,传统观点解释的是断层临发生活动那一瞬间的应力状态,而实测应力反映的是断层停止活动之后处于平衡时的应力状态。由于应力分布在断层活动过程中是变化的,二者当然不会完全相同。以下讨论正断层与逆断层形成前后应力的变化。

### 1 正断层活动前后应力的变化

正断层即将活动时,有<sup>[2]</sup>

$$\sigma_1 = C_0 + \sigma_3 \tan^2 \alpha \quad (1)$$

由于 $\sigma_1 = \sigma_v = \gamma z$ ,  $\sigma_3 = \sigma_{h\perp}$ , 此时垂直于断层迹线的水平应力和垂向应力的比值 $K_a$ 为<sup>[2]</sup>:

$$K_a = \frac{\sigma_{h\perp}}{\sigma_v} = \frac{\sigma_3}{\sigma_1} = \left[ 1 - \frac{C_0}{\sigma_1} \right] \frac{1}{\tan^2 \alpha} = \left[ 1 - \frac{C_0}{\gamma z} \right] \operatorname{ctg}^2 \alpha \quad (2)$$

式中  $\sigma_1, \sigma_3$ ——最大主应力、最小主应力, MPa;  
 $\sigma_{h\perp}$ ——垂直于断层迹线的水平应力, MPa;  $\sigma_v$ ——垂向应力, MPa;  $C_0$ ——岩石单轴抗压强度, MPa;  $\alpha$ ——断面法线方向与最大主应力方向的夹角,  $(^{\circ})$ ;  $\gamma$ ——岩石容重,  $\text{kN/m}^3$ ;  $z$ ——垂直深度, m。

从(1)式、(2)式可见,当 $z$ 值较小时, $C_0/\gamma z$ 值可能大于1,这时会出现负值,即最小主应力是拉应力。

渤海湾盆地及松辽盆地的油田进行人工压裂的井深通常为1000~3000m。如果 $\gamma$ 值为 $25\text{kN/m}^3$ ,  $\alpha$ 值为 $60^{\circ}$ ,  $C_0$ 值为10MPa, 则 $K_a$ 值为0.2~0.29, 最大主应力是最小主应力的3.45~5倍。

正断层停止活动后,地层处于稳定状态时的应力

平衡(见图 4a)公式为:

$$\sigma_v^* (\sin \alpha - \mu \cos \alpha) = \sigma_h^* (\cos \alpha + \mu \sin \alpha) \quad (3-1)$$

$$\sigma_h^* / \sigma_v^* = \tan(\alpha - \varphi) \quad (3-2)$$

式中  $\sigma_h^*$ ,  $\sigma_v^*$  ——断层停止活动时的水平应力和垂向应力, MPa;  $\varphi$  ——断面摩擦角, ( $^\circ$ );  $\mu$  ——地层沿断面滑动时的摩擦系数,  $\mu = \tan \varphi$ 。

(3)式表达的是断层上盘停止沿断面滑动那一瞬间的平衡状态, 因此是平衡的下限, 即水平应力增大至此下限时, 上盘就停止下滑。平衡的上限应是断面无摩擦力( $\mu=0$ ), 这时有

$$\sigma_v^* \sin \alpha = \sigma_h^* \cos \alpha$$

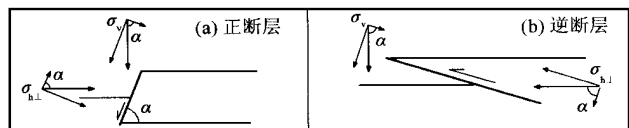
因此正断层停止活动时的水平应力与垂向应力的比值  $K_a^*$  在达平衡下限时为:

$$K_a^* = \sigma_h^* / \sigma_v^* = \tan(\alpha - \varphi)$$

在达平衡上限时为:

$$K_a^* = \sigma_h^* / \sigma_v^* = \tan \alpha$$

式中  $\sigma_h^*$ ,  $\sigma_v^*$  ——断层停止活动时的水平应力、垂向应力, MPa。



图中符号见文中说明

图 4 断层形成后应力平衡图

设  $\varphi$  值为  $30^\circ$  ( $\mu=0.577$ ), 则  $K_a^*$  值为  $0.577 \sim 1.73$ 。渤海湾盆地和松辽盆地的  $K_a^*$  值约为  $0.8$ 。一般情况下垂向应力仍大于水平应力。假设垂向应力在断层形成前后保持不变, 则表明在断层活动过程中水平应力不断增大, 直到足以制止上盘沿断面向下滑动。

正断层活动停止时垂直于断层迹线的水平应力与断层发生前该水平应力(即原最小主应力)的比值  $F_a$  为:

$$F_a = \frac{\sigma_{h\perp}^*}{\sigma_{h\perp}} = \frac{\sigma_{h\perp}^*}{\sigma_3} = \frac{\tan(\alpha - \varphi) \tan^2 \alpha}{1 - \frac{C_0}{\gamma z}} \quad (4)$$

式中  $\sigma_{h\perp}$ ,  $\sigma_{h\perp}^*$  ——正断层活动前和停止活动时垂直于断层迹线的水平应力, MPa。

设  $\alpha$  值为  $60^\circ$ ,  $C_0$  值为  $10\text{MPa}$ ,  $\gamma$  值为  $25\text{kN/m}^3$ ,  $z$  值为  $1000 \sim 2000\text{m}$ 。当  $\varphi$  值为  $30^\circ$  时,  $F_a$  值为  $1.998 \sim 2.88$ ; 当  $\varphi$  值为  $0^\circ$  时,  $F_a$  值达  $6 \sim 8.7$ , 这表明, 上盘停

止滑动时, 新的垂直于断层迹线的水平应力至少是原来的  $2 \sim 3$  倍, 甚至可达  $6 \sim 8$  倍。假设断层活动前的中间主应力(平行于断层迹线的水平应力)值是最大主应力(垂向应力)值的  $60\% \sim 75\%$ , 则断层停止活动时垂直于断层迹线的水平应力将超过原平行于断层迹线的水平应力, 成为新的中间主应力(偶尔还可能成为最大主应力), 那么原中间主应力(原平行于断层迹线的水平应力)就变为新的最小主应力(见图 5a)。

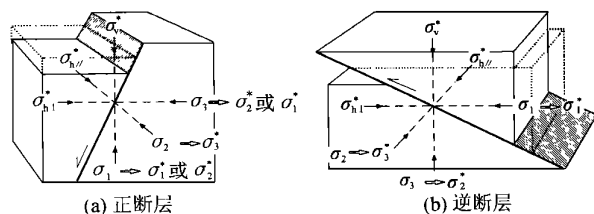


图 5 断层形成前后应力分布变化示意图

现按上述  $\alpha$ ,  $C_0$  和  $\gamma$  的假设条件分析油田实例。

大庆油田 37-67 井  $1438.8\text{m}$  深度实测垂向应力值为  $39\text{MPa}$ 。若  $K_a$  值为  $0.25$ , 则原最小主应力值为  $9.7\text{MPa}$ 。水压致裂测得的最小主应力值为  $25.9\text{MPa}$ , 平行于断层迹线, 实际是原中间主应力。可以假设在断层活动前后平行于断层迹线的水平应力变化不大, 据此计算<sup>[2]</sup>、<sup>①</sup>得的水平最大主应力值达  $37\text{MPa}$ , 是垂直于断层迹线的, 它是原垂直于断层迹线的水平应力的  $3.8$  倍。该结果处于前述计算的上限与下限之间。

胜利油区大芦湖油田 22-724 井  $3397\text{m}$  深度实测的垂向应力值为  $82\text{MPa}$ 。若  $K_a$  值为  $0.29$ , 最小主应力(垂直于断层迹线的水平应力)值为  $24.1\text{MPa}$ 。水压致裂测得的断层停止活动后的最小主应力值为  $59.1\text{MPa}$ , 实际是断层活动前的中间主应力; 断层停止活动后, 垂直于断层迹线的水平应力成为新的水平最大主应力, 实测值达  $77.5\text{MPa}$ , 是原最小主应力的  $3.2$  倍, 而原中间主应力相应成为最小主应力。

## 2 逆断层活动前后应力的变化

逆断层开始活动时, 最大主应力为垂直于断层迹线的水平应力, 最小主应力为垂向应力(见图 1b)。破裂准则仍为(1)式。这时水平应力与垂向应力的比值  $K_p$  为<sup>[2]</sup>

$$K_p = \frac{\sigma_h}{\sigma_v} = \frac{\sigma_1}{\sigma_3} = \frac{C_0}{\gamma z} + \tan^2 \alpha \quad (5)$$

在  $1000 \sim 3000\text{m}$  深度, 逆冲断层的  $\alpha$  值为  $65^\circ \sim 70^\circ$ ,  $K_p$  值为  $4.8 \sim 7.7$ ; 逆掩断层  $\alpha$  值为  $80^\circ$ ,  $K_p$  值为  $32$ 。逆断层停止活动处于稳定状况时, 应力平衡(见图 4b)公式为:

$$\sigma_h^* (\sin \alpha - \mu \cos \alpha) = \sigma_v^* (\cos \alpha - \mu \sin \alpha) \quad (6-1)$$

$$\sigma_h^* / \sigma_v^* = \operatorname{ctg}(\alpha - \varphi) \quad (6-2)$$

与正断层的讨论相同, (6)式是逆断层平衡的下限。逆断层平衡的上限是:

$$\sigma_h^* \sin \alpha = \sigma_v^* \cos \alpha$$

因此逆断层停止活动时的水平应力与垂向应力的比值  $K_p^*$ , 在达平衡下限时为:

$$K_p^* = \sigma_h^* / \sigma_v^* = \operatorname{ctg}(\alpha - \varphi)$$

在达平衡上限时为:

$$K_p^* = \sigma_h^* / \sigma_v^* = \operatorname{ctg} \alpha$$

当  $\varphi$  值为  $30^\circ$  ( $\mu=0.577$ ) 时,  $\alpha$  值为  $65^\circ$  的逆冲断层  $K_p^*$  值为  $1.43 \sim 0.47$ ,  $\alpha$  值为  $80^\circ$  的逆掩断层  $K_p^*$  值为  $0.84 \sim 0.18$ 。这表明, 在断层停止活动时, 逆掩断层垂向应力一般大于水平应力, 成为新的最大主应力; 对逆冲断层而言, 当  $\varphi$  值小于  $20^\circ$  时, 垂向应力也将是新的最大主应力。逆断层活动前, 垂直于断层迹线的水平应力是最大主应力 (见图 1b), 它在断层活动过程中不断减弱。上盘停止移动达到平衡时的该水平应力与断层活动前的该水平应力 (即原最大主应力) 的比值  $F_p$  为:

$$F_p = \frac{\sigma_{h\perp}^*}{\sigma_{h\perp}} = \frac{\sigma_{h\perp}^*}{\sigma_1} = \left[ \left[ \frac{C_0}{\gamma z} + \tan^2 \alpha \right] \tan(\alpha - \varphi) \right]^{-1} \quad (7)$$

设逆断层的  $C_0$  值为  $10 \text{ MPa}$ ,  $\gamma$  值为  $25 \text{ kN/m}^3$ ,  $z$  值为  $1000 \sim 3000 \text{ m}$ 。若逆冲断层的  $\alpha$  值为  $65^\circ$ , 当  $\varphi$  值为  $30^\circ$  时,  $F_p$  值为  $0.28 \sim 0.30$ ; 当  $\varphi$  值为  $0^\circ$  时,  $F_p$  值为  $0.09 \sim 0.1$ , 即逆冲断层形成后的垂直于断层迹线的水平应力值是断层活动前该水平应力 (原最大主应力) 值的  $1/3$  到  $1/10$ 。若逆掩断层的  $\alpha$  值为  $80^\circ$ , 当  $\varphi$  值为  $30^\circ$  时,  $F_p$  值为  $0.026$ ; 当  $\varphi$  值为  $0^\circ$  时,  $F_p$  值为  $0.005$ , 即新的水平应力值是原最大主应力值的  $3\%$  到  $0.5\%$ 。

逆断层与正断层不同, 在逆断层活动过程中, 平行于断层迹线的水平应力和垂直于断层迹线的水平应力都不断减弱, 且前者始终小于后者 (因断层运动方式未变)。在逆冲断层即将活动时, 垂直于断层迹线的水平主应力比垂向应力 (即原最小主应力) 大 5 倍或 5 倍以上。到断层停止活动时, 如果新的水平应力是原水平应力的  $1/3$ , 仍将大于垂向应力, 只有当它降至原最大主应力的  $1/3$  以下时才可能小于垂向应力; 逆掩断层

$F_p$  值一般小于  $0.03$ , 所以断层停止活动时垂向应力都大于水平应力。此外, 虽然断层活动前两个水平应力的值比较接近 (中间主应力是最大主应力的  $85\%$  左右), 但在逆断层活动过程中, 原中间主应力始终小于原最大主应力。因此当断层活动停止时, 如果垂直于断层迹线的水平应力小于垂向应力, 平行于断层迹线的水平应力必然成为最小水平主应力 (见图 5b)。

例如发育逆冲断层的克拉玛依油田八区,  $8569$  并  $3000 \text{ m}$  深度的垂向应力值为  $75.2 \text{ MPa}$ , 按 (5) 式计算, 垂直于断层迹线的水平应力 (即原最大主应力) 为  $355.7 \text{ MPa}$ 。断层活动停止后其值下降至  $48.0 \text{ MPa}$ , 是原最大主应力的  $13.5\%$ 。其水压致裂测得的最小水平主应力值为  $41 \text{ MPa}$ , 是平行于断层迹线的。

在新疆发育逆断层的油田储集层中测得的三向应力表明, 处于平衡状态的逆断层  $K_p^*$  值一般为  $0.4 \sim 0.8$ , 少数在  $1$  左右。这与上述分析比较吻合。

## 结 论

1. 在正断层活动过程中, 垂直于断层迹线的水平应力 (原最小主应力) 不断增大, 直到足以阻止正断层的继续发展。断层活动停止时, 此水平应力往往会大于平行于断层迹线的水平应力 (原中间主应力), 成为新的中间主应力, 而原中间主应力则成为新的最小主应力。

2. 在逆断层活动过程中, 垂直于断层迹线的水平应力 (原最大主应力) 不断减弱, 直到不能推动地层沿断面继续移动。断层活动停止后的该水平应力是断层活动前的  $20\% \sim 10\%$  (逆冲断层) 或  $3\%$  以下 (逆掩断层)。而平行于断层迹线的水平应力始终比它小, 因此在断层活动停止时, 当垂向应力大于垂直于断层迹线的水平应力时, 平行于断层迹线的水平应力必然成为最小主应力。

## 参 考 文 献

- 1 Jaeger J C and Cook N G W. Fundamental of rock mechanics (Third edition). London Published by Chapman and Hall, 1979.
- 2 Goodman R E. Introduction to rock mechanics. New York: John Wiley & Sons, 1980.

第一作者简介 孙宗硕 男, 63 岁, 教授, 博士研究生导师, 获瑞典律勒欧大学哲学博士学位。地址: 北京市丰台区太平桥 29 号楼 805 室, 邮政编码 100073; 电话: (010)63267053。

收稿日期 1999-04-19

(编辑 王孝陵 梁大新)

和度分布。将预测结果和实钻结果对比,砂岩厚度误差为1~2m,含油饱和度误差为1%~5%,预测结果可靠而直观,为蒙古林油田北部滚动勘探开发中的扩边工作部署提供了依据。图3参1(王孝陵摘)

**主题词** 三维地震解释 地震数据处理 油层对比 预测 油层厚度 含油饱和度 蒙古林油田 滚动勘探开发

**TE112.24 20000128**

油气田开发阶段砂岩储集层横向对比及预测方法[刊]/陈波,李孝军//石油勘探与开发.-2000,27(1).-95~97

在碎屑岩储集层油田开发阶段,横向对比砂体进而预测砂体分布、形态等是重要的开发地质研究工作,其准确性对提高油田开发效率、预测剩余油分布具有重要影响。通过高分辨率层序地层学方法,以中期旋回为对比单元,建立高精度年代地层格架;开展以静态和开发动态资料为基础的综合研究,确定砂体的大小和延伸范围;根据岩心、测井资料和高分辨率地震资料进行精细的储集层沉积微相分析,确定砂体的沉积微相组合类型、展布规律与形态分布。在上述条件的约束下,以微相类型为对比标准,完成单砂层的对比和分布预测。应用该方法对比黄骅坳陷港东油田明化镇组下段部分河流相储集层,首先建立以中期地层旋回为基础的等时地层格架,再以微相类型相同为对比约束条件,然后根据确定的砂体大小预测出砂体的位置和类型。图3参7(王孝陵摘)

**主题词** 砂岩油气藏 开发阶段 砂岩体 规模形状 分布 高分辨率 层序地层学 沉积微相

**P631.84 TE112 20000129**

测井资料在吐哈盆地温米油田储集层描述中的应用[刊]/冯方,牟泽辉...//石油勘探与开发.-2000,27(1).-98~101

基于测井资料解释的储集层描述是油藏描述的重要组成部分。通过对吐哈盆地温米油田主要目的层段(中侏罗统三间房组)岩心资料与自然伽马、声波时差

等测井曲线对应分析,建立测井相模型,确定储集层地质参数的地区经验解释模型,从而进行储集层物性、含油性、油气产能评价以及沉积微相研究。研究认为:三间房组沉积体系的主体亚相为辫状河三角洲前缘(分为5种微相)、前辫状河三角洲以及带供水道的远岸浊积扇体(分为3种微相);影响储集层参数及油气产能的主要因素是沉积微相类型。图2表2参4(邹冬平摘)

**主题词** 储集层 描述 测井 数据 吐哈盆地

## °应力场研究°

**P554 TE111.2 20000130**

在地质断层构造中地应力状态演变研究[刊]/孙宗颀,张国报...//石油勘探与开发.-2000,27(1).-102~105

在国内86个断块油气田近千口钻井中进行了水压致裂试验。试验结果表明,无论是在发育正断层还是发育逆断层的地层中,最小主应力均为水平应力,且其方向往往平行于断层走向。这与传统观点所认为的最小主应力方向垂直于断层走向(正断层)或最小主应力为垂直应力(逆断层)相矛盾。指出传统观点所解释的是断层开始发生时的应力状态和主应力与不同断层构造的关系,而压裂试验所测得的应力是断裂活动停止之后的应力状态。在正断层发生过程中,垂直于断层走向的水平应力(最小主应力)不断增大,直到足以阻止正断层的继续发展。因此断裂活动终止时此水平应力往往会超过平行于断层走向的水平应力(断裂发生前的中间主应力),成为中间主应力,平行于断层走向的水平应力则成为最小主应力。在逆断层发生过程中,垂直于断层走向的水平应力(最大主应力)不断减小,直到不能推动断层继续移动;平行于断层走向的水平应力在此过程中亦随之减小,且始终小于垂直于断层走向的水平应力,到断裂活动终止时必然成为最小主应力。图5参2(梁大新摘)

**主题词** 地质力学 构造应力 断层 裂缝(岩石) 含油气盆地 储集层 分布

Seismic data processing, Reservoir correlation, Prediction, Reservoir thickness, Oil saturation, Menggulin oil field, Progressive exploration and development

**Methods for sandstone reservoir lateral correlation and prediction in the development phase of the oil field.** Chen, Bo; et al.

(Jiangnan Petroleum Institute, Hubei 434102, P. R. China). *Shiyou Kantan Yu Kaifa* 2000, 27(1), 95-97. In the development phase of sandstone oil fields, lateral correlation of sand bodies and then their prediction of shape and distribution are very important geological research works whose veracity has much effect on improving the production efficiency of oil fields, and also on predicting the distribution of remaining oil. By using the method of high resolution sequence stratigraphy to establish high resolution chrono-stratigraphic framework and to determine the reservoir size and shape, and based on core, logging and high resolution seismic data to undertake detail reservoir depositional micro-facies analysis so as to determine the combination type spreading law, shape and distribution of depositional micro-facies of sand bodies are presented in the paper. With the constraint of above conditions correlation and prediction principles of single sand layer are established. This method has been applied to fluvial reservoirs of lower Minghuazhen Formation of Gangdong oil field, including setting high resolution isochronal stratigraphic framework on the base of intermediate term stratal cycle and predicting the location and type of sand bodies based on their size derived. **Subject heading:** Sandstone reservoir, Development phase, Sand body, Scope, Shape, Distribution, High resolution, Sequence stratigraphy, Sedimentary microfacies

**Log data application in reservoir characterization for Wenmi oil field, Turpan-Hami basin.** Feng, Fang; et al. (Institute of

Petroleum Exploration, CNSPC, Hubei 434100, P. R. China). *Shiyou Kantan Yu Kaifa* 2000, 27(1), 98-101. Well log dependent reservoir characterization is a important part of reservoir description. According to correspondant analyses of rock core, natural gamma ray, and sonic interval transit time, we can establish a log facies model and reservoir parameters model, and then analyze porosity, permeability, oil saturation and oil productivity of main layers of interest in Wenmi reservoir.

Researches indicate: the main depositional sub-facies sedimentary system of Sanjianfang Formation in Wenmi reservoir of Turpan-Hami basin are braided stream delta front, prodelta of braided stream and infralittoral turbidite fan. The major factor which affects reservoir parameters and productivity is the type of microfacies. **Subject heading:** Reservoir, Description, Well logging, Data, Turpan-Hami basin

**Study of in-situ stress state evolution in geologic fault structure.**

Sun, ZongQi; et al. (Central South University of Technology, Hunan 410083, P. R. China). *Shiyou Kantan Yu Kaifa* 2000, 27(1), 102-105. The hydrofracturing tests have been conducted in near thousand oil wells drilling at 86 oil-gas fields of 13 big oil areas in China. Test results show that minimum principle stress,  $\sigma_3$  is always horizontal and parallel to the strike of normal and reversed faults. This is discrepant with traditional point of view, which states that minimum principle stress is horizontal and perpendicular to the strike of normal fault or is vertical for reversed fault. This paper points out that traditional point of view explains the stress state on fault occurrence and the relationship of three principle stresses with different fault structure. The measured stresses based on hydrofracturing tests in oil fields are stresses after completion of fault movement. Obviously, the stress state before fault occurrence continuously changes during fault formation. In the system of normal fault the horizontal stress, perpendicular to the strike of fault increases continuously up to the level which is enough to stop normal fault movement. Thus after formation of normal fault the horizontal stress becomes larger than the horizontal stress, parallel to the strike of normal fault. The last one becomes minimum principle stress. During reversed fault formation the horizontal stress, perpendicular to the strike of the fault decreases continuously up to the level which becomes incapable of moving the block forward. The horizontal stress, parallel to the strike of the fault decreases continuously too and always is less than the horizontal stress, perpendicular to the strike of the fault, being minimum principle stress after fault completion. **Subject heading:** Geomechanics, Tectonic stress, Fault, Fracture (Rock), Petroliferous basin, Reservoir, Distribution

(Edited by **Deng ChunPing**)