

# 塔里木盆地新构造运动时期构造应力方向

黄玉平<sup>1</sup>, 姜正龙<sup>1\*</sup>, 李景瑞<sup>1</sup>, 王步清<sup>2</sup>, 满来<sup>3</sup>

(1.中国地质大学(北京)海洋学院,北京 100083; 2.中国石油塔里木油田分公司勘探开发研究院,新疆 库尔勒 841000; 3.呼和浩特市武警黄金第二支队,内蒙古 呼和浩特 010000)

**摘要:**塔里木盆地的新构造运动强烈,对盆地的构造变形和油气成藏产生了重要的影响。从断层、褶皱及钻井诱导缝3方面分析研究区在新构造运动时期不同区块的最大主应力方向,进而预测盆地的应力场方向。塔北地区、柯坪断隆和塔西南地区主要受挤压应力作用,形成排状分布的断层及褶皱,向盆地方向断层及褶皱的形成时期逐渐变新,应力作用逐渐减弱;巴楚隆起和麦盖提斜坡的断层走向相近,呈排状分布;塔东南地区主要受走滑和挤压的共同作用,断裂与构造带平行分布;塔中地区以走滑、挤压作用为主,扭应力使该区发育较对称的褶皱,形成现今的构造形态。塔北地区、柯坪断隆和塔东南地区最大主应力方向主要为北西—北北西向,塔西南地区 and 巴楚隆起—麦盖提斜坡最大主应力方向为北东—南西向;而塔中地区最大主应力方向为北东东—北东向。从盆地新构造运动各时期发育的断裂、褶皱及主应力方向分布特点可以看出,其主应力方向在时间和空间上存在一定的继承性。预测塔里木盆地台盆区区域应力主要来自天山中西段及西昆仑山,呈“S”型分布,具有一定的压扭性。

**关键词:**断层 褶皱 钻井诱导缝 最大主应力方向 新构造运动 塔里木盆地

**中图分类号:** TE111.2

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1009-9603(2013)03-0005-05

构造应力场是地壳动力学研究的主体部分,是地壳运动的根本原因。Jean等探讨了构造应力与油气运移、聚集之间的关系,认为构造应力是沉积盆地成盆、成烃和成藏的主要动力<sup>[1-6]</sup>。因此,研究盆地构造应力场的时空变化,对于分析塔里木盆地褶皱冲断带的构造变形过程和油气构造圈闭的最终定型具有重要意义。同样,地质体的变形、断裂和后生组构是构造应力场的确凿反映,可以根据地质体的变形特征反推其构造应力状态。

王喜双等通过建立三维地质模型,对塔里木盆地现今构造应力场进行了模拟,分析了在构造应力和重力作用下,盆地由浅至深各构造层的应力变化特征<sup>[7-8]</sup>。张仲培等对于塔里木盆地北部地区古构造应力场的研究主要采用2种方法,即断层滑动数据反演方法和利用岩石磁组构来恢复古构造应力场<sup>[9-10]</sup>。在此基础上,笔者通过反推法,对断层、背斜和构造带的产状进行分析,得出研究区相应的最大主应力方向,再结合台盆区部分钻井的诱导缝分析,对盆地各区块的最大主应力方向进行了研究,并预测了新构造运动时期塔里木盆地的构造应力场方向。

## 1 区域地质背景

塔里木盆地是长期演化形成的大型叠合复合型盆地,盆地经历了晋宁期、加里东期、海西期、印支—燕山期及喜马拉雅期多期构造运动<sup>[11-13]</sup>。燕山运动使得塔里木盆地成为被天山褶皱带、昆仑山褶皱带与阿尔金山褶皱带环绕的山间盆地。其地层发育齐全,从震旦系到第四系均有分布,且厚度较大,最大残余厚度达16 000 m,共划分为7个构造层,6个大沉积层序。新构造运动时期,塔里木盆地的构造演化主要受控于南部印度次大陆与欧亚大陆碰撞的远距离构造效应,在周边山系前形成前陆盆地,盆地内则形成前缘隆起;在天山和昆仑山前形成复杂断裂、褶皱变形的前陆逆冲带,在盆地东南边缘形成与走滑活动有关的雁列式断裂、褶皱及花状构造、拉分盆地等。随着山脉的急剧隆升和盆地边界断层的大规模走滑运动,在盆地周缘及内部保留了强烈的新生代构造变形痕迹<sup>[14]</sup>。

塔里木盆地新构造运动可以划分为中新世( $N_1$ )、上新世( $N_2$ )、早更新世( $Q_1$ )和中晚更新世( $Q_2$ )

收稿日期:2013-03-15。

作者简介:黄玉平,女,在读硕士研究生,从事含油气盆地分析方面的研究。联系电话:13811635430, E-mail: yupinghuang001@163.com。

\*通讯作者:姜正龙,男,副教授,博士,从事含油气盆地分析与资源评价方面的教学与研究。联系电话:13581966915, E-mail: jiangzl@cugb.edu.cn。

基金项目:全国油气资源战略选区调查与评价国家专项“塔里木新领域油气资源战略选区”(2010GYXQ02-06)。

至今4幕,运动强度由周缘造山带向台缘带到台盆区逐渐减弱,从周缘造山带向山前拗陷形成排状分布的断裂及褶皱,且这些构造在时间和空间上存在一定的继承性。其中,Ⅰ幕是塔里木盆地新构造运动开始阶段,区域构造运动相对较弱;Ⅱ幕以西域组( $Q_{ix}$ )区域性角度不整合于阿什图组( $N_2a$ )之上为重要标志;Ⅲ幕对应西域组沉积时期,是周缘山系活动最强烈的时期;Ⅳ幕周缘山系以间歇式抬升为主,伴随逆冲推覆活动,盆地演化发生分异,山前以抬升为主,山前拗陷的凹陷带发生强烈的沉降,台盆区沉积速率变缓。

## 2 研究方法

地壳中的各种地质体在受到构造应力作用时,会发生变形和相对位移,从而形成断层、褶皱等各式各样的地质构造。因此,断层和褶皱的产状可以反映出其所受的最大主应力方向<sup>[12]</sup>;钻井岩心中的诱导缝的方向与现今构造应力的方向一致。鉴于获取全盆地应力方向的实测数据难度较大,笔者主要依据断层、褶皱的构造特征与应力场的关系,结合成像测井显示的钻井诱导缝在应力场方向的响应,综合分析塔里木盆地新构造运动时期的构造应力方向。

### 2.1 断层构造解析方法

安德森等对断层的应力状态进行分析,提出正断层、逆断层和平移断层的3种应力状态,正断层、逆断层的最大主应力方向均垂直于走向,平行于倾向<sup>[15]</sup>。因此,可以通过统计塔里木盆地新构造运动时期活动的断层产状,反推其所受的最大主应力方向。

### 2.2 褶皱构造解析方法

王喜双等研究表明,褶皱所受的最大挤压应力轴方向为褶皱走向交角的锐角平分线方向<sup>[8]</sup>。新构造运动时期,塔里木盆地山前发育与幕式运动相对应的排状褶皱,通过统计褶皱产状,可以反推其所受的最大挤压应力轴方向。

### 2.3 钻井诱导缝分析方法

在钻井过程中,由于钻具、地应力及高压钻井液的共同作用,沿最大水平主应力方向产生挤压力,当挤压力超过岩石的破裂压力时,形成钻井诱导缝,并在电成像或声成像上体现出来,利用钻井诱导缝的方位可以指示井区附近现今最大水平主应力方向<sup>[16-17]</sup>。

在钻井过程中,当井眼形成后,地层中原有的地应力平衡状态被打破,地应力在井眼周围重新分布,应用弹性力学理论分析,可以得到井壁上的有效主应力分布状态方程<sup>[18]</sup>。当最大水平主应力方向上有效轴向应力最小时(该处最容易发生拉张破裂),随着钻井液液柱压力的增大,井壁上出现压裂诱导缝,即压裂诱导缝方位对应着最大水平主应力方向;当最小水平主应力方向上有效轴向应力最大时,若钻井液液柱压力过小,井壁岩石就会崩落,形成椭圆井眼,即崩落方位对应着最小水平主应力方向。

在微电阻率扫描成像测井图上,崩落、压裂诱导缝和应力释放缝所表现出来的特征不同。可以根据这些特征推断压裂诱导缝的成因及其最大主应力方向。其中,压裂诱导缝显示为2条呈 $180^\circ$ 或接近 $180^\circ$ 对称分布的黑色垂直条带,延伸较长,方位基本稳定,压裂诱导缝方位即对应着最大水平主应力方向。

## 3 构造应力方向

### 3.1 塔北地区

库车拗陷冲断构造带自北向南的形成时间从中新世—更新世逐步变新<sup>[19]</sup>,表明该区块的逆冲作用也是自北向南逐步推移的,且构造变形是在挤压背景下形成的,以发育排状分布的各种逆冲断层和褶皱为特征<sup>[20]</sup>。背斜中发育的生长地层是构造变形期沉积于背斜脊部和侧翼的地层,是分析褶皱运动学特征及断层与褶皱相互关系的有效工具,其记录了褶皱变形的运动学特征及发展演化过程,确定生长地层的层位和时代,可以确定褶皱的起始时间和演化历史<sup>[21-22]</sup>。近年来,在天山两侧再生前陆盆地中利用生长地层确定构造形成时间及变形速率取得了较好的效果<sup>[23]</sup>。

从塔北地区最大主应力方向分布(图1)可以看出,库车拗陷和乌什凹陷的断层所反映的最大主应力方向主要为北北西—北西向,部分为北东向。库车拗陷发育3排呈条带状展布的背斜,与 $N_1$ 、 $N_2$ 、 $Q_1$ 这3幕构造运动相匹配。大宛齐背斜是库车拗陷的第2排背斜,该背斜发育生长地层,背斜北翼地层南倾,地层厚度向背斜脊部减薄,形成尖端指向南部的沉积楔(生长地层楔),这套生长地层位于上新统阿图什组下段,说明其形成于阿图什组沉积早期,表明大宛齐背斜变形发育时期为上新世早期。南

秋里塔格背斜发育的生长地层位于上新统阿图什组上段,表明该背斜变形发育时期为上新世晚期。由此说明库车坳陷背斜发育时间从北向南逐渐变新。

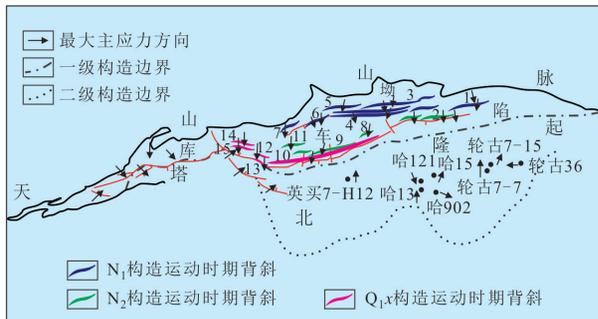


图1 塔北地区新构造运动时期最大主应力方向分布

1—依奇克里克背斜;2—东秋里塔格背斜;3—巴什奇奇克背斜;4—喀桑托开背斜;5—库姆格列木背斜;6—吐孜玛扎背斜;7—喀拉巴赫背斜;8—北秋里塔格背斜;9—南秋里塔格背斜;10—米斯坎塔克背斜;11—大宛齐背斜;12—东阿瓦特背斜;13—北喀拉玉儿滚背斜;14—库鲁科尔背斜;15—治克齐根背斜

库车坳陷发育背斜的主应力方向为北西 $22^{\circ}$ —北东 $10^{\circ}$ ,主要为正北或北北西向,与曾联波等根据岩石声发射法实测出的库车坳陷在喜马拉雅运动以来的近南北向最大主应力方向一致<sup>[24-25]</sup>,且库车坳陷构造应力由山前构造带向盆地内部呈变小的趋势。结合轮南地区部分钻井诱导缝方向(表1)分

表1 轮南地区部分钻井诱导缝方向统计

井号	成像测井层位	井段/m	现今最大主应力方向	角度/ $(^{\circ})$
哈902	奥陶系	6 590~6 690	北北西—南南东	337.5
哈121	奥陶系	6 630~6 730	北西西—南东东	292.5
哈15	奥陶系	6 520~6 670	北东东—南西西	67.5
轮古7-11	奥陶系	5 060~5 110	北东东—南西西	67.5
轮古7-15	奥陶系	5 030~5 230	北东东—南西西	67.5
轮古7-12	奥陶系	5 050~5 200	近东—西	90
英东1	寒武系—奥陶系	4 940~5 330	北东—南西	45
哈13	奥陶系	6 730~6 900	近东西	90
英买7-H12	奥陶系	5 200~5 340	近东西	90
轮古7-7	奥陶系	5 190~5 280	近南北	180
轮古7	奥陶系	5 147~5 279	北东—南西	45
轮古36	奥陶系	5 894~6 669.5	近东西	90

析,轮南地区最大主应力方向为北东向和东西向。由此可以得出,塔北地区在新构造运动时期最大主应力方向为北—北北西向。且库车坳陷的断层和背斜的最大主应力方向在时间和空间上具有较好的继承性,断层和背斜的最大主应力方向在中新世—早更新世均为北北西—南南东向。

### 3.2 巴楚隆起和麦盖提斜坡

巴楚隆起断裂带主要发育于中新世和上新世,断裂倾向主要为北东—北北东向<sup>[26]</sup>;麦盖提斜坡在新构造运动时期发育的断层倾向主要为北东向,与巴楚隆起断层的倾向相同。从图2可以看出,断层所反映的最大主应力方向在时间上具有很好的继承性,其最大主应力方向在中新世和上新世均为北东—南西向。巴楚隆起及麦盖提斜坡断层的最大主应力方向主要为北东—南西向。

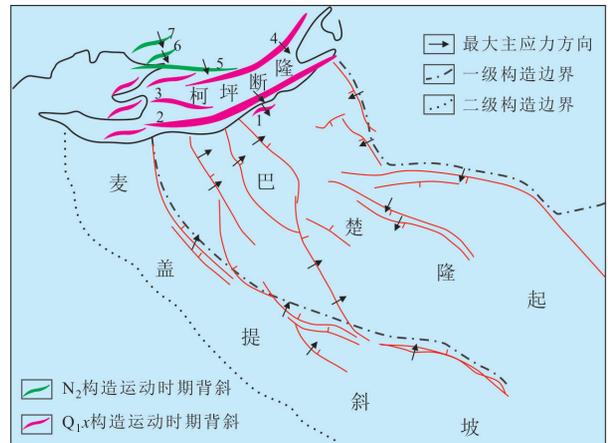


图2 巴楚隆起、麦盖提斜坡和柯坪断隆新构造运动时期最大主应力方向分布

1—三郎塔格背斜;2—柯坪塔格背斜;3—塔塔艾尔塔格背斜;4—木干它乌背斜;5—皮羌山背斜;6—皮羌背斜;7—柯克布克三山背斜

### 3.3 柯坪断隆

柯坪断隆发育的背斜由北向南呈条带状展布,表明该区块构造应力亦同样由北向南推移,背斜主要发育于上新世和早更新世<sup>[27]</sup>,走向总体为北东向,表明其最大主应力方向为北西 $45^{\circ}$ —北,主要为北西向(图2),且背斜由北向南扩展与迁移,往盆地方向,背斜的形成时间越晚。平面上,背斜呈平行状态分布,同样表现出时间和空间上的继承性。

### 3.4 塔西南地区

新构造运动时期,受西昆仑山快速隆升作用影响,西昆仑山前开始形成一系列冲断带及背斜。冲断构造主要体现在逆冲断层上,塔西南山前以挤压作用为主,使得山前形成排状分布的断层及背斜(图3)。

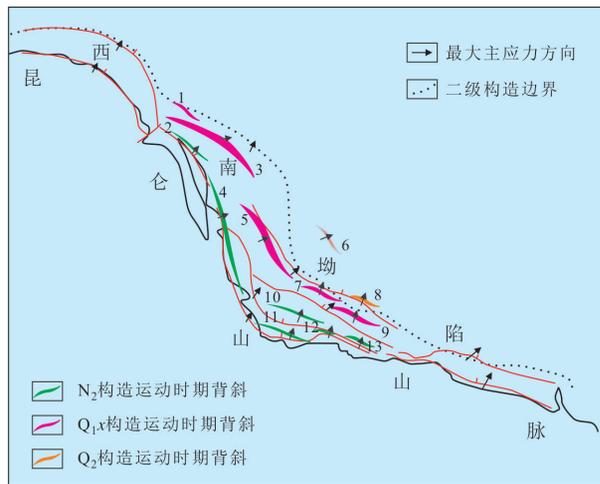


图3 塔西南地区新构造运动时期最大主应力方向分布

- 1—阿克陶背斜;2—苏盖特背斜;3—英吉沙背斜;4—齐姆根背斜;5—棋北背斜;6—捷得背斜;7—固满背斜;8—斯里克背斜;9—合什塔格背斜;10—柯克亚背斜;11—甫沙背斜;12—柯东背斜;13—克里阳背斜

冲断带断层主要发育于上新世到第四纪,断层的倾向主要为 $39^{\circ}\sim 64^{\circ}$ ,最大主应力方向为北东—南西向;褶皱与断层相伴生,褶皱的走向主要为北西—北西西向,最大主应力方向为北东 $22.5^{\circ}$ —北东 $67.5^{\circ}$ ,表明该区块最大主应力方向为北东向。冲断带发育的断层及背斜在平面上从南西—北东向呈排状分布,发育的3排构造带变形时间从造山带向盆地方向逐渐变新(图3),表明应力方向由山前向盆地逐渐延伸,显示空间上和时间内存在继承性。

合什塔格背斜和克里阳背斜位于塔西南山前构造带,属于塔西南山前的第2、第3排褶皱。地震剖面显示,合什塔格背斜及克里阳背斜发育生长地层。这2个背斜北翼地层北东倾,地层厚度向背斜脊部减薄,形成尖端指向南西的沉积楔(生长地层楔)。其中,克里阳背斜生长地层发育于上新统阿图什组下段,说明该背斜的变形发生在上新世早期;合什塔格背斜生长地层发育于更新统西域组上段,说明该背斜的变形发生在更新世西域组沉积晚期。

### 3.5 塔东南地区

新构造运动时期,随着东昆仑山与阿尔金山的强烈抬升,造山带向盆地推挤,盆地内断块与山前冲断活动开始发育,阿尔金山断裂在左行走滑的同时也向北冲断,压扭作用强烈,且走滑作用远大于冲断作用<sup>[28]</sup>,因此在盆地前缘形成2排平行于阿尔金山造山带的构造带,与中新世和上新世构造运动相对应,构造带走向大致为北东向,最大主应力方向为北北西向。受压扭作用的影响,断层在水平和垂

向上均有运动,断层倾向主要为 $100^{\circ}\sim 130^{\circ}$ ,最大主应力方向为北北西向(图4)。综合断层及构造带的最大主应力方向分析,塔东南地区的最大主应力方向为北北西向。

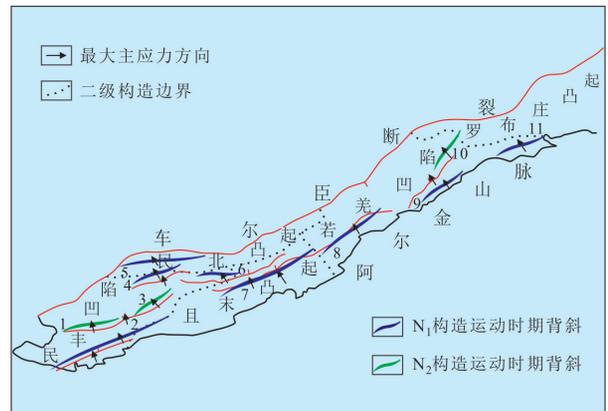


图4 塔东南地区新构造运动时期最大主应力方向分布

- 1—民丰构造带;2—民南构造带;3—于田构造带;4—尼雅南地层圈闭带;5—尼雅构造带;6—牙尔通构造带;7—阿羌构造带;8—江格萨依构造带;9—若羌构造带;10—若北构造带;11—罗布构造带

### 3.6 塔中地区

根据钻井诱导缝与最大主应力方向之间的关系,对塔中地区部分钻井的诱导缝方向进行统计,在17口钻井中,有13口钻井的诱导缝方向为北东东—北东向,表明塔中地区的最大主应力方向为北东东—北东向(图5)。塔中地区新构造运动时期发育的断层主要为北倾,结合钻井诱导缝方向,显示塔中地区的最大主应力方向为北东东—北东向。

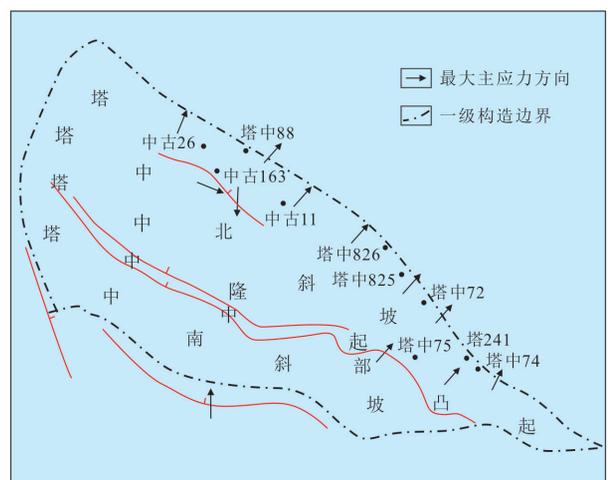


图5 塔中地区新构造运动时期最大主应力方向分布

由此,根据各区块的构造应力方向,预测了新构造运动时期塔里木盆地的构造应力场(图6),可以看出,台盆区区域应力主要来自天山中西段及西昆仑山,呈“S”型分布,具有一定的压扭性。

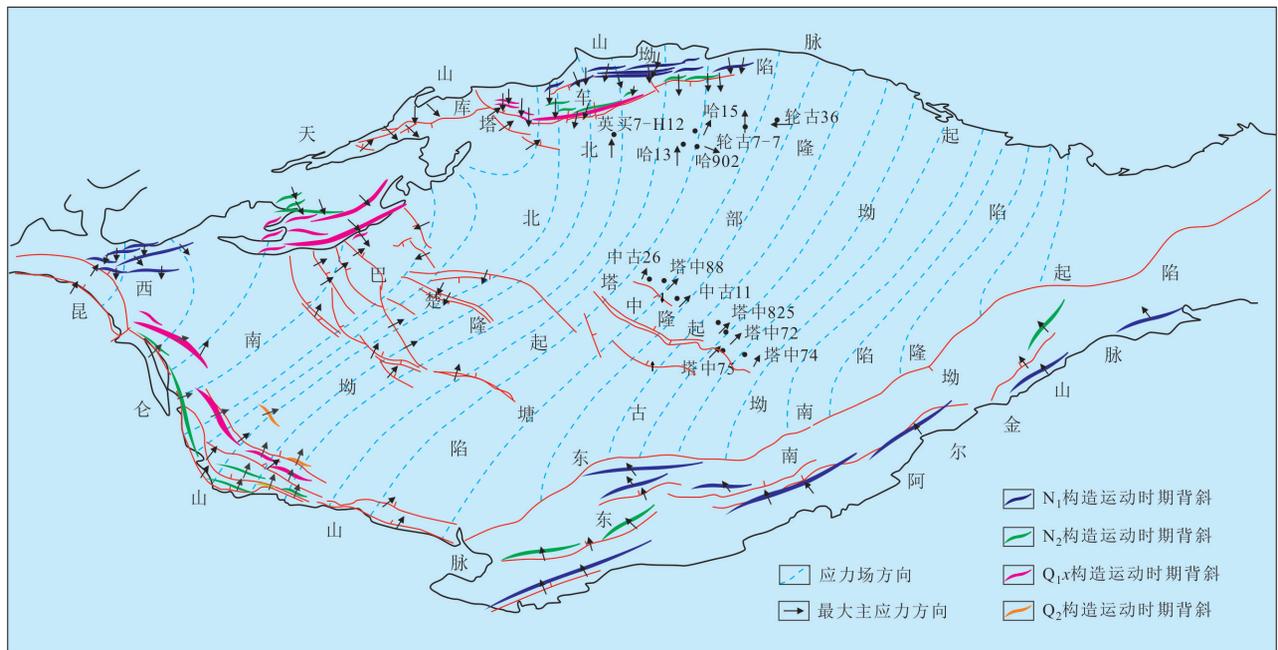


图6 塔里木盆地新构造运动时期构造应力场方向预测

## 4 结论

通过塔里木盆地断层、褶皱和钻井诱导缝的分析,在塔北地区、柯坪断隆、塔西南地区,受挤压应力作用,其褶皱及断层均呈排状分布,与新构造幕式运动相匹配,塔北地区最大主应力方向为北—北北西向,柯坪断隆最大主应力方向为北西向,塔西南地区最大主应力方向为北东向,且挤压应力从造山带向盆地方向逐渐减弱;巴楚隆起和麦盖提斜坡断层走向相近,呈排状分布,其最大主应力方向为北东—南西向;塔东南地区以走滑运动为主,挤压作用不明显,导致构造带与断层平行分布,走向均为北东向,表明塔东南地区最大主应力方向为北北西向;塔中地区以走滑、挤压作用为主,最大主应力方向为北东东—北东向。据此预测塔里木盆地台盆区区域应力主要来自天山中西段及西昆仑山,呈“S”型分布,具有一定的压扭性。

### 参考文献:

[1] Jean du Rouchet. Stres fields—A key to oil migration [J]. AAPG Bulltin, 1980, 65(1): 74–85.  
 [2] 孙宝珊. 塔里木盆地北部地区构造应力场特征与油气移聚关系 [M]//贾润胥. 塔里木盆地油气地质研究. 武汉: 中国地质大学出版社, 1991.  
 [3] 沈淑敏. 新疆塔东北沙雅隆起区构造应力场的理论分析和实验研究 [M]//贾润胥. 塔里木盆地油气地质研究. 武汉: 中国地质大学出版社, 1991.

[4] 王连捷. 沙雅隆起及邻区现今地应力场及其在油气移聚研究中的应用 [M]//贾润胥. 塔里木盆地油气地质研究. 武汉: 中国地质大学出版社, 1991.  
 [5] 于海波, 王德英, 牛成民, 等. 层序—构造对黄河口凹陷新近系油气分布及成藏的控制作用 [J]. 油气地质与采收率, 2012, 19(6): 42–46.  
 [6] 李春林, 郭鹏, 任德生. 大民屯凹陷构造应力场及其与油气运聚关系 [J]. 油气地质与采收率, 2012, 19(6): 47–49.  
 [7] 王喜双, 宋惠珍, 刘洁. 塔里木盆地构造应力场的数值模拟及其对油气聚集的意义 [J]. 地震地质, 1999, 21(3): 267–273.  
 [8] 王喜双, 李晋超, 王绍民, 等. 塔里木盆地构造应力场与油气聚集 [J]. 石油学报, 1997, 18(1): 23–28.  
 [9] 张仲培, 王清晨. 断层滑动分析与古应力恢复研究综述 [J]. 地球科学进展, 2004, 19(4): 605–613.  
 [10] 曾联波, 漆家福. 利用岩石磁组构恢复沉积盆地古构造应力场方法的探讨 [J]. 石油实验地质, 2007, 29(6): 628–632.  
 [11] 罗小龙, 汤良杰, 谢大庆, 等. 塔里木盆地雅克拉断凸构造样式与油气成藏 [J]. 油气地质与采收率, 2012, 19(3): 38–42.  
 [12] 尚延安. 塔里木盆地轮南地区速度场的建立和应用 [J]. 油气地质与采收率, 2008, 15(4): 49–51.  
 [13] 祝贺, 刘家铎, 田景春, 等. 塔北—塔中地区三叠系层序地层格架及生储盖组合特征 [J]. 油气地质与采收率, 2011, 18(3): 14–19.  
 [14] 徐兵. 塔里木盆地塔中地区断裂分形特征 [J]. 油气地质与采收率, 2007, 14(4): 35–37.  
 [15] 戴俊生. 构造地质学及大地构造 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2006.  
 [16] 赵永强. 成像测井综合分析地应力方向的方法 [J]. 石油钻探技术, 2009, 37(6): 39–43.  
 [17] 冷洪涛, 翟勇, 任瑞莲. 综合应用测井资料分析现今地应力方向 [J]. 内蒙古石油化工, 2008, (19): 127–129.  
 [18] 郭云民, 李健康, 崔洁, 等. 高含水期油井出砂预测模型的研究