

文章编号: 1006-6616 (2012) 02-0140-09

# 新生代天山隆升与塔里木盆地北缘现今构造面貌关系——来自岩石声发射的证据

张宇航<sup>1,2</sup>

(1. 油气资源与探测国家重点实验室, 北京 102249;  
2. 中国石油大学盆地与油藏研究中心, 北京 102249)

**摘要:** 对塔里木盆地北缘四石厂剖面 and 库车河剖面进行声发射样品采集, 并对志留系、二叠系、三叠系岩石样品进行岩石声发射地应力测试, 以研究强烈构造活动下塔里木盆地北缘(柯坪隆起和库车拗陷)的地应力特征。测试结果显示, 志留系、二叠系、三叠系样品所记录的岩石声发射最大主应力分别为 57.74 MPa、57.73 MPa、58.86 MPa。结合前人对地应力的研究成果, 认为在塔里木盆地北缘喜马拉雅期构造运动能够被岩石记载的应力约为 57 MPa 左右。塔里木盆地北缘自志留纪至今的地质历史过程中喜马拉雅晚期遭受的构造运动最为强烈, 造成塔北地区现今的构造面貌。这与新生代天山隆升有密切关系, 印度板块与欧亚板块碰撞是其最主要的动力学因素。

**关键词:** Kaiser 效应; 声发射; 最大主应力; 天山隆升; 塔里木盆地北缘  
**中图分类号:** P553                      **文献标识码:** A

## 0 引言

塔里木盆地北缘毗邻天山山脉, 新生代天山隆升对塔里木盆地北缘构造格局具有重要影响。关于该地区的构造变形、地壳缩短、增厚以及隆升过程、与天山山脉之间的构造耦合关系等是国内外地球科学领域关注的热点问题<sup>[1-7]</sup>。GPS 观测资料<sup>[1-3]</sup>与热释光测年<sup>[4-5]</sup>等都揭示出塔里木盆地北缘与天山相接部位现今地壳活动十分强烈, 南北向地壳快速缩短。天山之下的陆-陆碰撞是中、新生代发生的重要造山事件<sup>[6]</sup>。天山地区新生代构造运动以山体向南北两侧双向逆冲及天山地壳缩短为主要特征<sup>[3,5-6]</sup>, 新生代陆-陆碰撞导致了天山再次隆起和两侧盆地进一步拗陷, 逐渐形成现在的地貌与构造格局<sup>[7]</sup>。不同的动力学背景, 在不同的地质发展阶段导致了不同的盆地类型、边界条件和盆山耦合模式, 因而产生了不同的构造应力场特征<sup>[8]</sup>。塔里木盆地北缘的边缘变形、现今地应力状态等, 作为塔里木盆地动力学研究的基础内容之一, 已经受到地学界的广泛重视<sup>[8-12]</sup>。

岩石声发射法测量地应力具有较高的准确性<sup>[10-11,14-16]</sup>。目前已通过岩石声发射<sup>[8,11-12]</sup>

收稿日期: 2011-12-07

基金项目: 全国油气资源战略选区调查与评价国家专项(第二批)(2009GYXQ02-05); 国家自然科学基金项目(41172125); 国家科技重大专项(2011ZX05002-003-001)

作者简介: 张宇航(1983-), 男, 中国石油大学(北京)在读博士研究生, 主要从事构造地质学研究。E-mail: zyh\_yx@

和测井资料计算地应力<sup>[9]</sup>等方法对库车山前挤压区开展了地应力实测工作, 获得了库车地区中生代以来经历的构造期次和各期最大主应力值<sup>[8,10~12]</sup>。但因为选取的测量方法不同导致获取的地应力值存在一定差异, 而且对柯坪地区的地应力实测工作尚属空白。针对目前盆地北缘岩石地应力测试工作存在的问题, 本文采用单轴岩石声发射试验对天山南麓山前的柯坪及库车地区的岩石样品进行测试, 探讨新生代天山隆升对塔里木盆地北缘的影响。

## 1 区域地质背景

塔里木盆地处于哈萨克斯坦板块、西伯利亚板块、特提斯-羌塘板块和柴达木板块的交汇处, 盆地周缘被天山、昆仑山和阿尔金山所夹持, 喜马拉雅期以来处于构造活跃地带(见图 1)。塔里木盆地盆地北缘包括柯坪隆起和库车拗陷 2 个构造单元。柯坪隆起位于天山造山带与塔里木盆地之间, 属于西南天山前陆构造的一部分, 柯坪推覆构造是天山山前新生代以来逆冲和褶皱变形最强烈地段<sup>[5]</sup>。库车拗陷位于天山造山带南侧, 经历了多期构造变革, 并在喜马拉雅期的构造变动中最终定格<sup>[8]</sup>。天山山前沉积了新生代巨厚的磨拉石建造, 认为天山在新生代有一个快速隆升过程, 这次隆起和两侧盆地的强烈下沉主要发生在中新世以后<sup>[6-7]</sup>。

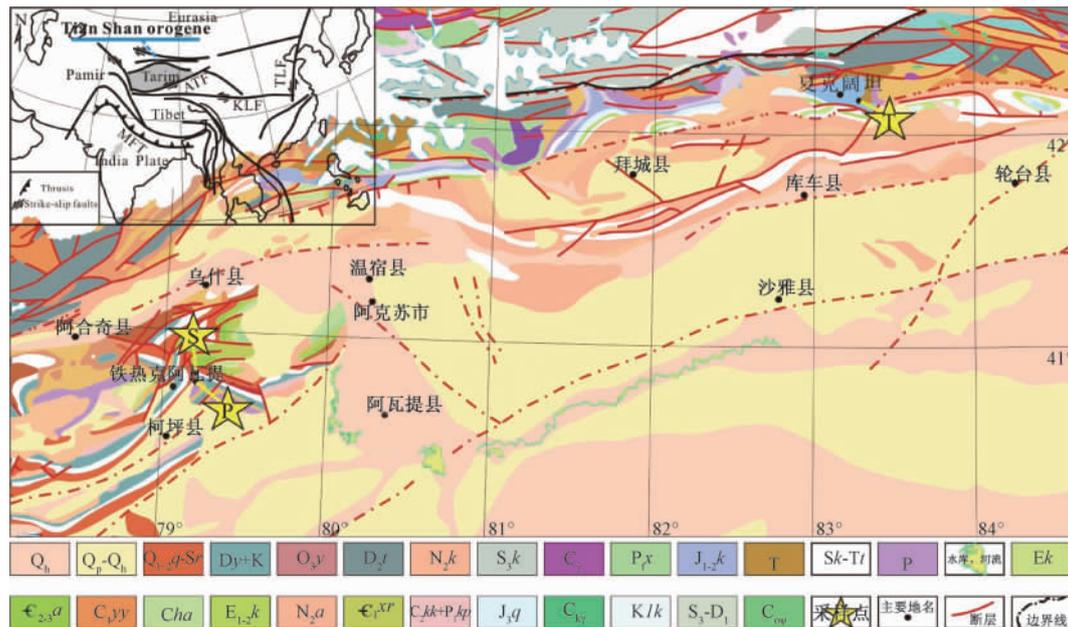


图 1 塔北地区地质略图  
Fig. 1 Schematic geological map in Northern of Tarim Basin

塔里木盆地北缘柯坪和库车地区是古生代和中、新生代地层出露最完整的地区。其中库车地区是中、新生代地层出露最齐全的地区, 尤以库车河剖面最具代表性; 柯坪地区是塔里木古生代克拉通边缘拗陷盆地的典型代表, 出露了完整的震旦系—二叠系海相沉积层序(见图 1)。

## 2 样品采集与分析测试

岩石声发射效应能够记录岩石所遭受的最大应力<sup>[14]</sup>。岩石在加载试验过程中因失稳产生不可逆 Kaiser 效应<sup>[8,15]</sup>。Kaiser 效应是岩石应力测量的最基本依据<sup>[15]</sup>，与岩石变形的不可逆性有关。

### 2.1 样品采集

受地质构造和地壳运动的影响，浅部应力与深部应力在方向上具有一致性，浅部地应力测量结果能够反映区域构造应力场的特征<sup>[10]</sup>。考虑到深部围压对岩石的影响<sup>[11]</sup>，本次所需实验样品均取自地表浅层。

在前人研究的基础上，为补充和完善塔里木盆地北缘岩石地应力值，选择在柯坪地区铁热克阿瓦提村四石厂剖面 and 库车地区夏克阔坦村库车河剖面进行岩石地应力样品采集（见图 1）。

#### 2.1.1 志留系样品

志留系样品采集于塔里木盆地北缘柯坪地区铁热克阿瓦提村四石厂剖面（见图 2），地理坐标为北纬  $40^{\circ}50'706''$ ，东经  $79^{\circ}50'096''$ ，海拔高程为  $1329 \pm 3$  m。该测点属志留系柯坪塔格组，由潮坪-滨外相碎屑组成（见图 3a），发育大型羽状交错层理，岩性为灰绿色、紫红色粉—细砂岩、泥岩、页岩，厚度为 100 ~ 200 m。

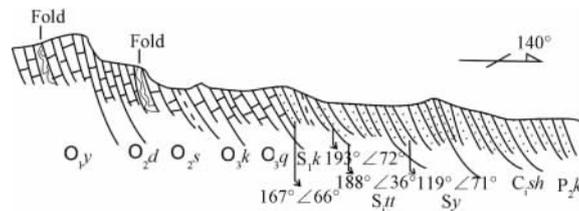


图 2 四石厂剖面野外信手剖面

Fig. 2 Field sketch profile of Sishichang section

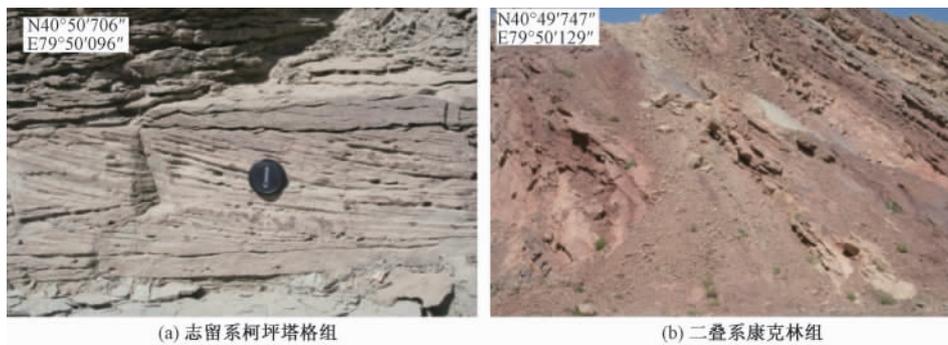


图 3 柯坪地区样品采集点

Fig. 3 Sampling station of Keping area

#### 2.1.2 二叠系样品

二叠系样品采集于塔里木盆地北缘柯坪地区铁热克阿瓦提村四石厂剖面，地理坐标为北

纬  $40^{\circ}49'747''$ , 东经  $79^{\circ}50'129''$ , 海拔高程 1310 m。该测点属二叠系康克林组, 为砂岩向灰岩过渡区 (见图 3b), 下部是灰色厚层砾岩和石英砂岩, 中部以灰色中—厚层石英砂岩为主并夹砾岩和泥岩, 局部发育灰岩透镜体, 灰岩透镜体含蜓类、牙形石和双壳类。岩层产状  $147^{\circ} \angle 62^{\circ}$ 。

### 2.1.3 三叠系样品

三叠系样品采集于塔里木盆地北缘库车地区夏克阔坦村库车河剖面, 地理坐标为北纬  $42^{\circ}15'810''$ , 东经  $83^{\circ}15'486''$ , 海拔高程 1822 m。该测点属三叠系黄山街组, 底部黄灰色砂岩整合于克拉玛依组顶部黑色泥岩之上 (见图 4); 岩性以深灰色泥质岩为主, 底部和中部具有由黄灰色长石粗砂岩、粉砂岩及炭质泥岩组成的 2 套由粗到细的韵律层, 砂岩顶部常夹煤线, 泥岩中常夹饼状泥灰质团块 (具同心构造) 及叠锥构造。剖面中富含植物、孢粉、轮藻、介形类及板足鲎化石, 层面见虫管遗迹。

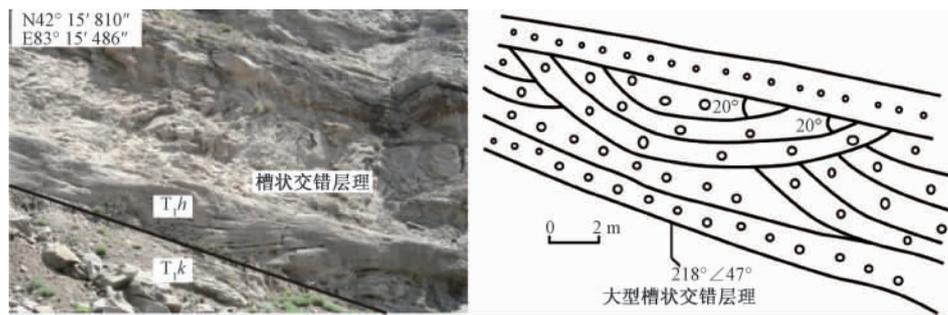


图 4 库车地区样品采集点 (三叠系黄山街组)

Fig. 4 Sampling station of Kuqa area

## 2.2 测试结果

本次岩石声发射求取地应力的测试在中国石油大学 (北京) 油气资源与探测国家重点实验室进行。首先将野外采集的样品严格加工为符合 ISRM 国际岩石力学标准的三组圆柱形试样, 然后采用美国物理声学公司 (PAC) 的发射测试仪, 通过 AE (Win) For PCI-2 (E2.12) 分析软件进行声发射样品测试。岩石声发射测量的主应力值统计见表 1。

表 1 岩石声发射主应力值统计表

Table 1 Cartogram of primary stress by rock acoustic emission

序号	组别	岩心方向	围压/MPa	换算的凯塞尔点 压力/MPa	上覆应力/ MPa	水平最大 主应力/MPa	水平最小 主应力/MPa	凯塞尔点 时间/s
1	第一组	垂向	0	54.66				214
2		水平 $0^{\circ}$	0	57.04	54.66	58.86	47.46	184
3		水平 $45^{\circ}$	0	58.86				370
4	三叠系	水平 $90^{\circ}$	0	47.46				172
5		垂向	0	57.06				353
6		水平 $0^{\circ}$	0	57.74	57.06	57.74	52.37	362
7	志留系	水平 $45^{\circ}$	0	56.23				353
8		水平 $90^{\circ}$	0	52.37				328
9	第三组	垂向	0	57.73				363
10		水平 $0^{\circ}$	0	45.36	57.73	53.64	45.36	284
11		水平 $45^{\circ}$	0	52.63				325
12	二叠系	水平 $90^{\circ}$	0	53.64				330

塔里木盆地北缘的岩石声发射地应力测量结果定量记录了它所受到的构造变形强度。根据岩石声发射测试结果, 可以确定塔里木盆地北缘志留系所记录的最大主应力和最小主应力分别为 57.74 MPa 和 52.37 MPa, 二叠系所记录的最大主应力和最小主应力分别为 53.64 MPa 和 45.36 MPa, 三叠系所记录的最大主应力和最小主应力分别为 58.86 MPa 和 47.46 MPa。

### 2.3 准确性分析

目前关于塔北地区库车坳陷中生代以来各期构造运动的最大主应力值尚有争议(见表2)。

表2 库车坳陷中生代构造期次与最大主应力值  
Table 2 Structural stage and primary stress, Kuqa depression

数据来源	最大主应力值/MPa						
	印支期	燕山中期	燕山晚期	喜马拉雅早期	喜马拉雅中期	喜马拉雅晚期	新构造期
曾联波等 <sup>[8]</sup>	52.5	27.4	39.3	55.7	63.6	79.4	53.8
张明利等 <sup>[12]</sup>	35	30	60	80	50	100	

李军等<sup>[9]</sup>利用测井资料计算库车山前稳定区 DG1 井 3860~4980 m 井段最大有效主应力值为 42.88~67.17 MPa, 实验最大有效主应力值为 47~51 MPa; KL201 和 KL202 井 3636.8~4358.5 m 井段测井资料计算最大有效主应力值为 50.75~71.29 MPa, 实验最大有效主应力值为 53.04~69.6 MPa。曾联波等<sup>[11]</sup>利用岩石声发射效应测得库车山前构造带部分井的现今最大主应力平均值  $N_{1+2}$  为 54 MPa,  $E_{1+2}$  为 96.6 MPa,  $K_1$  为 90.6 MPa,  $J_1$  为 96.7 MPa。

本次试验所得到的库车地区现今最大主应力平均值为 56.76 MPa, 与李军等<sup>[9]</sup>、曾联波等<sup>[11]</sup>的实验结果相似, 佐证了本次测试结果的可靠性。

## 3 测试结果讨论

已有的研究成果表明, 塔里木盆地北缘山前构造带以挤压构造变形为主, 最大主应力方向近南北向<sup>[5,6,8~12,17]</sup>, 经历了多期构造运动变革<sup>[8,10,12]</sup>。

### 3.1 库车地区地应力测量结果

库车河位于库车冲断褶皱带的中段<sup>[17]</sup>, 从该地区三叠系样品的岩石声发射响应与时间曲线(见图5)可以看出, 水平和垂直方向上存在多个 Kaiser 效应点, 分别记录了库车地区三叠纪至今经历的多期构造变革。

曾联波等<sup>[11]</sup>对库车山前构造带  $N_{1+2}$  的岩石声发射地应力测量结果显示, 其主应力为 49.8~55.9 MPa, 而本次实测的 T 岩石声发射地应力值在 47.46~58.86 MPa 之间, 两者基本吻合。综合曾联波等<sup>[8]</sup>、张明利等<sup>[12]</sup>对库车山前地区中生代构造期次及与其对应的最大主应力值的研究成果, 确定本次实测的三叠系样品的最大主应力值为 58.86 MPa, 代表喜马拉雅晚期构造运动的主应力值。三叠系样品除现今最大主应力值外, 各方向仍然有 2 个明显的 Kaiser 效应点(见图5), 这与曾联波等<sup>[8]</sup>实测库车地区  $N_1$  岩石声发射响应曲线特征相同, 结合对库车地区新近系岩石样品实测的最大古应力有效值(见表3), 得到库车坳陷喜马拉雅晚期所遭受 3 次构造运动的主应力平均值分别为 57.02 MPa、49.40 MPa 和 44.15 MPa。

库车地区新近纪的构造变形是从造山带向坳陷内部逐渐传递的过程<sup>[18]</sup>。上新世变形强烈, 改造了早期断层和褶皱<sup>[17]</sup>, 现今仍在强烈活动。也有观点认为天山山脉现今的地质面貌主要是受早更新世以来的构造运动影响<sup>[20]</sup>。所以, 塔里木盆地库车地区在新生代经历了

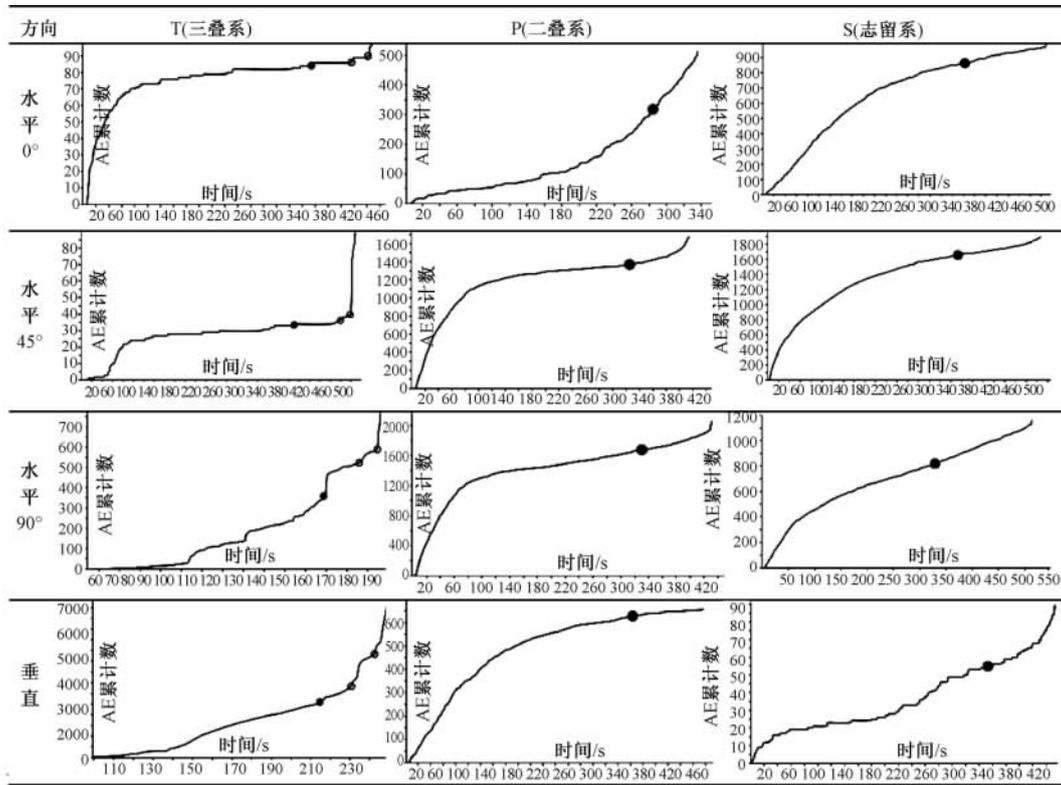


图 5 岩石声发射响应与时间曲线

Fig. 5 Cumulative Acoustic Emission count-time graph for rock tests

表 3 库车拗陷岩石声发射地应力统计表

Table 3 Statistics of crustal stress by rock acoustic emission of Kuqa depression

地层时代	喜马拉雅晚期最大主应力值/MPa		
N <sub>2</sub> <sup>①</sup>		26	39
N <sub>1</sub> <sup>①</sup>	56.1	81.5	
N <sub>2</sub> <sup>②</sup>		23.5	36.7
N <sub>2</sub> <sup>②</sup>		34.5	65.7
N <sub>1</sub> <sup>③</sup>	56.1	81.5	35.2
T	58.86		

注: ①引自文献 [8]; ②引自文献 [12], 转引曾联波 (1999); ③引自文献 [12], 转引谭成轩 (2000)

3 次构造运动, 分别代表早上新世的喜马拉雅晚期 I 幕运动、早更新世的喜马拉雅晚期 II 幕运动和中更新世开始的喜马拉雅晚期 III 幕运动 (曾联波等<sup>[8]</sup> 称此为新构造期, 距今 0.7 Ma—现今)。

### 3.2 柯坪地区地应力测量结果

本次在柯坪地区四石厂剖面, 分别取早古生界志留系和晚古生界二叠系样品进行地应力测量, 从岩石声发射响应与时间曲线 (见图 5) 分析, 水平和垂直各方向曲线稳定, 应力表现为持续的加载过程, 呈现出韧性破坏机制, 确定该地区岩石样品在推覆至地表之前并未记录更早的构造运动。

从岩石声发射实验得到柯坪地区志留系样品的现今最大主应力值为 57.74 MPa, 二叠系

样品的现今最大主应力值为 57.73 MPa。根据现有数据分析,柯坪地区推覆至地表的志留和二叠系是同期构造作用改造的结果。岩石声发射响应与时间曲线揭示,志留系样品各方向仅 1 个 Kasier 效应点,推测志留纪至今仅遭受了一期构造运动。阿图什逆断裂-背斜带和柯坪地区多组推覆构造的热释光测年研究表明,柯坪推覆构造主要形成于早更新世<sup>[4~5]</sup>。结合前人资料和本次测试结果,确定柯坪隆起是喜马拉雅晚期构造运动改造的结果。

综合分析认为,柯坪地区志留纪至今并未遭受早期构造运动的强烈改造,志留纪—二叠纪是稳定沉积期。缺失中生界的原因可能是由于该地区中生代为早期古隆起,并与巴楚隆起为一整体。李乐等<sup>[21]</sup>通过对地层系统、岩石组合、古生物和沉积特征分析证实柯坪和巴楚在前中生代是连为一体的。喜马拉雅晚期构造运动造成柯坪隆起现今构造面貌,引起这期构造运动的最大主应力值约为 57.7 MPa。

### 3.3 塔里木盆地北缘现今构造变形

塔里木盆地北部地区喜马拉雅构造运动占主导地位<sup>[10]</sup>。天山与喜马拉雅山同受到南北方向的挤压力,区内俯冲活动几乎同期开始,在新生代逆冲活动开始至今,天山南部底面可能隆升了 1~2 km<sup>[6]</sup>。

塔里木板块向天山之下俯冲,这个陆内俯冲是导致新生代天山隆升的动力学机制<sup>[6]</sup>。本次岩石声发射实验显示库车和柯坪地区在喜马拉雅晚期受到了几乎相同的地应力作用,最大主应力平均值为 58.11 MPa,推测这是新生代印度板块与欧亚板块碰撞所传递到塔里木盆地北缘的最大平均主应力值,造成了天山隆升和盆地北缘的现今构造面貌。

现今天山南缘山前柯坪与库车地区具有明显的东西差异性。通过 GPS 观测认为天山具有分段变化特征,这种东西变形的显著差异是由于帕米尔北向推挤和塔里木顺时针旋转的共同作用<sup>[3]</sup>。但从实测地应力来看,这种可能性不大。本次实测的天山南缘与塔里木盆地相接的东、西段受到的最大主应力几乎相同,推测天山南缘山前的东西差异为早期构造格局,晚期只是在早期基础上继承改造。有证据表明天山在渐新世存在快速隆升,且新近纪不断隆升,并且库车—天山盆山系统的变形样式具有基底与盖层的不一致性<sup>[18]</sup>。库车地区新生代变形开始时(距今 24 Ma,正是吉迪克组沉积初期),南天山已经隆升了 1.1~3.7 km<sup>[22]</sup>,所以库车拗陷在此之前就已经是一个早期拗陷了;后期由于喜马拉雅晚期运动的强烈改造,天山再次隆升形成现今的构造格局。库车—天山边界向盆地方向倾斜的正断层也说明了天山的多次隆升<sup>[18~19]</sup>。

岩石声发射准确记录了喜马拉雅晚期塔里木盆地北缘库车拗陷与柯坪隆起的构造运动。塔里木盆地北缘现今构造格局(柯坪隆起、库车拗陷)成型于新生代之前,是现今天山南缘山前东西段差异的主要原因。新生代受欧亚板块南缘地体增生、板块碰撞远距离效应和天山地区复活造山影响,喜马拉雅晚期原天山山前东、西段差异基础上强烈改造,形成了现今柯坪隆起的推覆构造以及库车内的褶皱与断层。

## 4 结论

库车拗陷新生代喜马拉雅晚期经历了上新世、早更新世和新构造期(距今 0.7 Ma—现今)3 次构造运动,最大主应力平均值分别是为 57.02 MPa、49.40 MPa 和 44.15 MPa。

现今天山南缘山前柯坪与库车地区的東西差异是晚期构造运动在早期构造格局基础上的继承与改造。新生代吉迪克组沉积前库车拗陷与南天山之间已经形成了一定规模的隆拗格

局, 喜马拉雅晚期天山不断隆升, 造成了库车坳陷的持续沉降与柯坪隆起的東西差异。

柯坪隆起现今构造面貌是喜马拉雅晚期运动改造的结果。柯坪隆起在喜马拉雅晚期之前与巴楚隆起为一整体, 并未遭受强烈地构造改造, 早更新世受天山复活造山的影响被推覆成型, 最大主应力平均值为 57.74 MPa。

喜马拉雅晚期是塔里木盆地北缘现今构造的主要变形和定格期。天山南缘山前柯坪及库车地区所受的构造主应力基本一致, 这是新生代印度板块与欧亚板块碰撞的远程效应传递到塔里木盆地北缘的作用力。

## 参 考 文 献

- [ 1 ] 王琪, 丁国瑜, 乔学军, 等. 天山现今地壳快速缩短与南北地块的相对运动 [J]. 科学通报, 2000, 45 (14): 1543 ~ 1547.  
WANG Qi, DING Guo-yu, QIAO Xue-jun, et al. Present-day crustal fast shortening and relative movement of north and south blocks in Tianshan Mountains [J]. Chinese Science Bulletin, 2000, 45 (14): 1543 ~ 1547.
- [ 2 ] Wang Q, Zhang P Z, Jeffrey T F, et al. Present-day crustal deformation in China constrained by global positioning system measurements [J]. Science, 2001, 294: 574 ~ 577.
- [ 3 ] 牛之俊, 游新兆, 杨少敏. 利用 GPS 分析天山现今地壳形变特征 [J]. 大地测量与地球动力学, 2007, 27 (2): 1 ~ 7.  
NIU Zhi-jun, YOU Xin-zhao, YANG Shao-min. Analysis of contemporary crustal deformation characteristics with GPS data of Tianshan Mountain [J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2007, 27 (2): 1 ~ 7.
- [ 4 ] 沈军, 赵瑞斌, 李军, 等. 塔里木盆地西北缘河流阶地变形测量与地壳缩短速率 [J]. 科学通报, 2001, 46 (4): 334 ~ 337.  
SHEN Jun, ZHAO Rui-bin, LI Jun, et al. The river terraces deformation measurement in northwestern margin of Tarim Basin and crust shortening rate [J]. Chinese Science Bulletin, 2001, 46 (4): 334 ~ 337.
- [ 5 ] 杨晓平, 冉勇康, 程建武, 等. 柯坪推覆构造中的几个新生褶皱带阶地变形测量与地壳缩短 [J]. 中国科学: D 辑, 2006, 36 (10): 905 ~ 913.  
YANG Xiao-ping, RAN Yong-kang, CHENG Jian-wu, et al. New fold belt terraces deformation measurement and crust shortening in Kalpin nappe structure [J]. Science in China: Series D, 2006, 36 (10): 905 ~ 913.
- [ 6 ] 卢德源, 李秋生, 高锐, 等. 横跨天山的人工爆炸地震剖面 [J]. 科学通报, 2000, 45 (9): 982 ~ 987.  
LU De-yuan, LI Qiu-sheng, GAO Rui, et al. An artificial explosive seismic profile across the Tianshan Mountain [J]. Chinese Science Bulletin, 2000, 45 (9): 982 ~ 987.
- [ 7 ] 张培震. 天山及其前陆盆地的晚新生代构造变形 [J]. 科学通报, 2003, 48 (24): 2249 ~ 2250.  
ZHANG Pei-zhen. Late Cenozoic tectonic deformation of Tianshan Mountains and its foreland basin [J]. Chinese Science Bulletin, 2003, 48 (24): 2249 ~ 2250.
- [ 8 ] 曾联波, 谭成轩, 张明利. 塔里木盆地库车坳陷中生代构造应力场及其油气运聚效应 [J]. 中国科学: D 辑, 2004, 34 (增刊 I): 98 ~ 106.  
ZENG Lian-bo, TAN Cheng-xuan, ZHANG Ming-li. Meso-Cenozoic tectonic stress field and hydrocarbon migration and accumulation in Kuqa depression, Tarim Basin [J]. Science in China: Series D, 2004, 34 (Supp. 1): 98 ~ 106.
- [ 9 ] 李军, 张超谟, 王贵文, 等. 一种研究山前挤压构造区地应力的新方法 [J]. 地球学报, 2004, 25 (1): 89 ~ 94.  
LI Jun, ZHANG Chao-mo, Wang Gui-wen, et al. A new method for studying ground stress in the structural compressive area of a foreland [J]. Acta Geoscientica Sinica, 2004, 25 (1): 89 ~ 94.
- [ 10 ] 丁原辰, 孙宝珊, 汪西海, 等. 塔里木盆地北部油田古应力的 AE 法测量 [J]. 地质力学学报, 1996, 2 (2):

- 18 ~ 24.
- DING Yuan-chen, SUN Bao-shan, WANG Xi-hai, et al. Paleostress in northern Tarim oilfield estimated by AE [J]. *Journal of Geomechanics*, 1996, 2 (2): 18 ~ 24.
- [11] 曾联波, 王贵文. 塔里木盆地库车山前构造带地应力分布特征 [J]. *石油勘探与开发*, 2005, 32 (3): 59 ~ 60.  
ZENG Lian-bo, WANG Gui-wen. Distribution of earth stress in Kuche thrust belt, Tarim Basin [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2005, 32 (3): 59 ~ 60.
- [12] 张明利, 谭成轩, 汤良杰, 等. 塔里木盆地库车坳陷中生代构造应力场分析 [J]. *地球学报*, 2004, 25 (6): 615 ~ 618.  
ZHANG Ming-li, TAN Chen-xuan, TANG Liang-jie, et al. An analysis of the Mesozoic-Cenozoic tectonic stress field in Kuqa depression, Tarim Basin [J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2004, 25 (6): 615 ~ 618.
- [13] 吴满路, 张春山, 廖椿庭, 等. 青藏高原腹地现今地应力测量与应力状态研究 [J]. *地球物理学报*, 2005, 48 (2): 327 ~ 331.  
WU Man-lu, ZHANG Chun-shan, LIAO Chun-ting, et al. The recent state of stress in the central Qinghai-Tibet Plateau according to in-situ stress measurements [J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 2005, 48 (2): 327 ~ 332.
- [14] Yoshikawa S M. Experimental studies on the Kaiser effect of stress history on acoustic emission activity—a possibility for estimation of rock stress [J]. *Journal of Acoustic Emission*, 1990, 8 (4): 113 ~ 123.
- [15] Lavrov A. The Kaiser effect in rocks: Principles and stress estimation techniques [J]. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 2003, 40 (2): 151 ~ 171.
- [16] Tuncay E, Ulusay R. Relation between Kaiser Effect levels and pre-stresses applied in the laboratory [J]. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 2008, 45 (4): 524 ~ 537.
- [17] 汪新, 贾承造, 杨树锋, 等. 南天山库车冲断褶皱带构造变形时间——以库车河地区为例 [J]. *地质学报*, 2002, 76 (1): 55 ~ 62.  
WANG Xin, JIA Cheng-zao, YANG Shu-feng, et al. The Time of deformation on the Kuqa folds and thrust belt in the Southern Tianshan; Based on the Kuqa River area [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2002, 76 (1): 55 ~ 62.
- [18] 王清晨, 张仲培, 林伟. 库车—天山盆山系统新近纪变形特征 [J]. *中国科学: D 辑*, 2004, 34 (增刊 I): 45 ~ 55.  
WANG Qing-chen, ZHANG Zhong-pei, LIN Wei. Deformation features of Kuqa and Tianshan Basin-range System in Neogene [J]. *Science in China: Series D*, 2004, 34 (Supp.I): 45 ~ 55.
- [19] 王清晨, 张仲培, 林伟. 库车盆地—天山边界的晚第三纪断层活动性质与应力状态 [J]. *科学通报*, 2003, 48 (24): 2253 ~ 2559.  
WANG Qing-chen, ZHANG Zhong-pei, LIN Wei. Fault activity and stress state in Neogene in Kuqa basin and Tianshan boundary [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2003, 48 (24): 2253 ~ 2559.
- [20] Sun J M, Zhu R X, James B. Timing of the Tianshan Mountains uplift constrained by magnetostratigraphic analysis of molasses deposits [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2004, 219: 239 ~ 253.
- [21] 李乐, 侯贵廷, 潘文庆, 等. 塔里木盆地巴楚地区二叠纪以来构造应力场解析 [J]. *地质力学学报*, 2011, 17 (3): 262 ~ 273.  
LI Le, HOU Gui-ting, PAN Wen-qing, et al. Study on structural stress fields since Permian in Bachu area, Tarim Basin [J]. *Journal of Geomechanics*, 2011, 17 (3): 262 ~ 273.
- [22] Yin A, Nie S, Harrison T M, et al. Late Cenozoic tectonic evolution of the southern Chinese Tianshan [J]. *Tectonics*, 1998, 17 (1): 1 ~ 27.

(下转 194 页)

## STRUCTURAL CHARACTERISTICS OF TONGCHENG FAULT AND HYDROCARBON ACCUMULATION IN JINHU SAG

YE Shao-dong

(*Geological Scientific Research Institute of Jiangsu Oilfield Company, SINOPEC, Yangzhou 225009, China*)

**Abstract:** Tongcheng Fault is a second class fault which controls the development of Tongcheng structural belt in Jinhu Sag. It is divided into two parts by its faulted feature showing reverse fault character at the south part and normal fault feature at the north part. There are different views about its character and evolvement. Tongcheng fault is considered as a typical strike-slip fault based on the structural analysis of seismic profiles. Varied directions of dip result in normal fault and reverse fault alternatively occurring along the fault because of strike-slip movement. Tongcheng strike-slip fault can not only form different types of traps, but also improve physical property of low-permeability reservoir, which is of great advantage to oil and gas accumulation.

**Key words:** strike-slip faults; structural characteristics; low-permeability reservoir; Jinhu Sag

(上接 148 页)

## RELATIONSHIP BETWEEN CENOZOIC TIANSHAN MOUNTAIN UPLIFTING AND CURRENT TECTONIC TOPOGRAPHY IN NORTH MARGIN OF TARIM BASIN: AN EVIDENCE FORM ROCK ACOUSTIC EMISSION

ZHANG Yu-hang<sup>1,2</sup>

(1. *State Key Laboratory of Petroleum Resource and Prospecting, China University of Petroleum, Beijing 102249, China;*

2. *Basin & Reservoir Research Center, China University of Petroleum, Beijing 102249, China*)

**Abstract:** Strongly tectonic activity had been observed by field outcrop in the northern margin of the Tarim Basin. In order to find out regional stress field setting of active structure movement, the authors collected rock acoustic emission samples in Sishichang and Kuqa River section in the north margin of the Tarim Basin, and then experiment with Silurian, Triassic, Permian samples, rock ground stress test of acoustic emission. The recorded results of the maximum principal stress were 57.74 MPa, 57.73 MPa and 58.86 MPa respectively. Summarized previous research results of study area, the rocks recorded the ground stress of the Himalayan movement about 57 MPa, in the northern margin of the Tarim Basin. Late Himalayan period had been suffered intensively, during the geology history stage of the northern margin, since Silurian period. Today's tectonic features were formed. It is intimately relation to Cenozoic Tianshan Mountain uplifting; the main kinetic factor is Eurasian plate and India plate collision.

**Key words:** Kaiser Effect; acoustic emission; maximum principal stress; Tianshan Mountain uplifting; the north margin of Tarim Basin