

张红艳、谢富仁、崔效锋等 2014, 北天山中东段活动断层滑动与现代构造应力场, 中国地震, 30(1), 13~22.

· 研究论文 ·

北天山中东段活动断层滑动 与现代构造应力场

张红艳^{1 2)} 谢富仁²⁾ 崔效锋²⁾ 杜义²⁾

1) 中国地震局地质研究所, 北京市朝阳区华严北里甲 1 号 100029

2) 中国地震局地壳应力研究所(地壳动力学重点实验室), 北京德外西三旗 100085

摘要 利用北天山中段地区主要活动断裂关键构造部位测得的断层滑动数据, 采用断层滑动资料反演构造应力张量的方法, 确定了该区现代(最新构造变动时期)构造应力场的基本特征, 结果是: 应力方向表现为近南北向的挤压; 应力结构以逆冲型为主, 兼有走滑型。该结果与前人利用震源机制解资料反演得到的区域构造应力场的基本特征一致。两类不同应力资料反演得到的构造应力场特征具有较好的一致性, 表明在一个较长的地质时期内研究区的构造应力作用比较稳定。

关键词: 断层滑动 构造应力场 北天山中东段

[文章编号] 1001-4683(2014)01-013-10 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

0 引言

天山位于亚洲大陆中部, 总体上呈近 EW 向, 东起中国境内的新疆维吾尔自治区, 西至哈萨克斯坦、吉尔吉斯斯坦等国, 全长约 2500km, 宽度达 250~350km, 是亚洲最主要、规模巨大的年轻山系之一(邓起东等 2000)。在中国地质学界, 大体上以 88°E 线为界将天山山脉分为东天山和西天山。其中, 西天山又被划分为北天山、中天山、南天山和西南天山(李锦轶等 2006)。位于天山北麓近 EW 向的北天山, 横贯新疆, 东延入蒙古、西进独联体, 北接准噶尔盆地, 南连南天山, 其地理坐标为 42.6°~45.3°N, 80°~96°E。从新构造运动来看, 北天山地区以逆断裂褶皱带依次由南向北作前展式扩展和逐渐隆起为主要特征。由南向北 4 排斜列的逆断裂-褶皱带分别是山麓逆断裂-褶皱带、霍尔果斯-玛纳斯-吐鲁番逆断裂-褶皱带、独山子-安集海逆断裂-褶皱带、西湖隆起带, 它们共同组成了北天山山前活动构造带(邓

[收稿日期] 2013-05-14; [修定日期] 2013-10-28

[项目类别] 国家自然科学基金(40904024)、人社部 2013 年留学人员科技活动项目(人社厅函[2013]277 号)、“十二五”国家科技支撑计划项目(2012BAK19B03-4)、国土资源部深部探测技术与实验研究专项(SinoProbe-06-04)以及中央级公益性科研院所基本科研业务专项(ZDJ2013-20)共同资助

[作者简介] 张红艳, 女, 1980 生, 在职博士研究生, 副研究员, 主要从事构造应力场与地壳动力学研究。

E-mail: zhy0720@126.com

起东等,1991,2000;冯先岳等,1991)。这些活动构造带是中国西北部典型的挤压型活动构造区,主要的活动断裂呈NW、NE和近EW向,分布于天山山体与盆地衔接的过渡地带。本次研究工作选择北天山中东段,即 $42.6^{\circ}\sim 45^{\circ}\text{N}$, $83.5^{\circ}\sim 89^{\circ}\text{E}$ 区域范围内主要的活动断裂,开展了活动构造形迹的详细调查。通过活动断裂滑动擦痕的系统测量,利用由断层滑动反演构造应力张量的计算方法,获得了研究区内17个反映现代构造应力张量的数据,确定了各观测点的3个主应力方向和反映其相对大小的应力形因子,为了解北天山地区现代(最新构造变动时期)构造应力场的基本特征提供了重要的基础数据。

1 断层滑动实地考察与观测

北天山中东段地区活动断裂众多,结构复杂,且部分隐伏于地下。主要发育NE、近EW、NW向3组活动断裂,可分为全新世活动断裂、晚更新世活动断裂和早、中更新世活动断裂(图1)。本次研究选择北天山中东段区域内11条重要的活动断裂,沿断裂走向追踪,进行了详细的野外地质考察,并在这些断裂的关键构造部位,开展了断层滑动数据的观测。由于测点较多,无法逐一介绍每个测点的情况,现按照研究区内3组活动断裂的不同走向,对17个断层滑动观测点位中的部分测点作详细介绍。

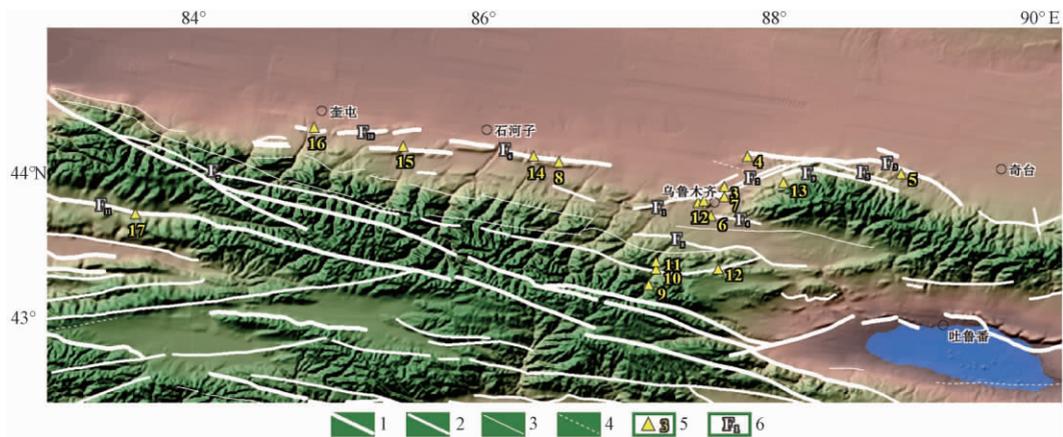


图1 北天山中东段活动断裂及断层滑动观测点位分布

1. 全新世断裂; 2. 晚更新世断裂; 3. 早、中更新世断裂; 4. 前第四纪断裂; 5. 断层滑动观测点及编号; 6. 断层编号; F_1 . 西山断裂; F_2 . 碗窑沟断裂; F_3 . 阜康断裂; F_4 . 红雁池断裂; F_5 . 雅玛里克断裂; F_6 . 霍玛吐断裂; F_7 . 依连哈比尔断裂; F_8 . 柴窝堡盆地南缘断裂; F_9 . 二道沟断裂; F_{10} . 独山子-安集海断裂; F_{11} . 伊犁盆地北缘断裂(喀什河断裂)

1.1 NE向断裂

1.1.1 碗窑沟断裂 F_2

碗窑沟断裂是乌鲁木齐市活断层调查的重点目标之一(图1)。断裂西起鲤鱼山南侧,向东经红光山、芦草沟、铁厂沟、闷葫芦沟延伸至阜康水磨沟河以东,走向 55° ,倾向北,倾角 $60^{\circ}\sim 80^{\circ}$,断层总长约50km。航片上该断层线影像清晰,泉水沿断层溢出。西段隐伏于乌鲁木齐河谷部分,据钻探资料第四纪厚度差约10~20m。在八道湾露天煤矿可见侏罗系煤层向南逆冲到上更新统黄土和砾石层上(图2)。在煤矿沟底3号测点处(43.90°N , 87.67°E)可见一系列近平行排列的断裂,倾角较缓,大多为 $50^{\circ}\sim 60^{\circ}$,断层面上擦痕向北侧

伏,侧伏角 $25^{\circ} \sim 45^{\circ}$,指示断层为逆冲运动,少量显示为左旋运动。高精度形变资料显示该断裂现今仍有活动(叶民权 2004);第五代区划图信息反映该断裂为晚更新世断裂。

1.1.2 雅玛里克断裂 F_5

雅玛里克断裂经雅玛里克山至红山北坡,经水磨沟、铁厂沟延伸至三工河以东,全长约 38km,走向 NE,倾向南,倾角 $60^{\circ} \sim 80^{\circ}$,逆冲兼走滑性质。该断裂也是乌鲁木齐市活断层调查的重点目标之一,新疆地震局在活断层项目初勘阶段开挖大型探槽揭露断层剖面。最大的探槽长约 200m,宽约 3m,探槽揭示侏罗系逆冲于 Q_3 之上。断裂带宽度为 50 ~ 150m,第四系厚度为 0 ~ 30m,浅层地震探测表明断裂穿过市区。多年地震监测、高精度重复形变测量以及 GPS 测量均表明该断裂现今仍有活动(叶民权等 2004; 杨继林等 2005)。7 号测点位于乌鲁木齐市七一棉纺厂东的跑马场($43.83^{\circ}N, 87.67^{\circ}E$),属雅玛里克断裂带。据两个探槽测得的擦痕数据显示,断层运动为左旋走滑。

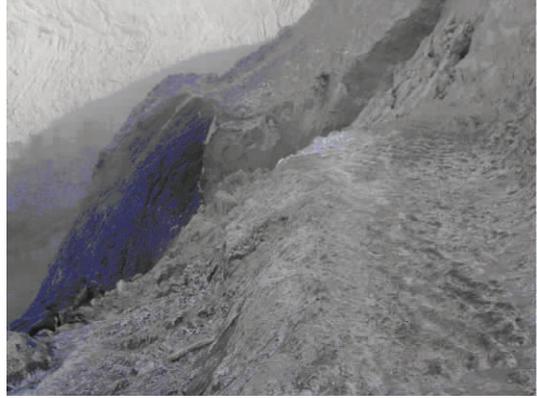


图 2 碗窑沟断裂 3 号测点八道湾煤矿

1.2 近 EW 向断裂

1.2.1 西山断裂 F_1

西山断裂是乌鲁木齐市活断层探测项目中一条重要的、颇具规模的断层构造。该断裂总长超过 35km,总体走向近 EW。断层的性质以逆冲倾滑错动为主,断层面北倾。从卫星遥感、航片影像和地面地质分析后认为西山断层控制着西山岭南麓(图 3)。断层西起头屯河以西的永光煤矿附近,由西向东经稍胡达坂南麓,过头屯河,沿西山、火山南麓分布,过四道岔后进入乌市近郊 104 团界内,在耐火材料厂附近主断面分为两支:一支向东延伸;另一支向 $N40^{\circ}E$ 偏转切入马料地。断层再向东进入市区,被完全覆盖。断层在地表存有断坎地貌,坎高 1.0 ~ 1.5m,近 EW 走向。新疆地震局经探槽开挖见侏罗系煤层断至地表,逆冲到晚更新世冲积相砂砾石层之上(图 4)。2 号($43.80^{\circ}N, 87.53^{\circ}E$)测点位于探槽中,该测点处发育多组擦痕,走向近 EW,倾向北,倾角 $30^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 。断层面上发育有清晰的滑动擦痕,指示断层有逆冲运动。

1.2.2 阜康断裂 F_3

阜康断裂是乌鲁木齐市外围 1 条近 EW 走向的活动断裂,该断裂全长约 160km,倾向南,倾角 $20^{\circ} \sim 70^{\circ}$,具逆冲性质,分析认为该断裂为晚更新世活断层。在魏家泉沟中 4 号测点处($44.11^{\circ}N, 87.83^{\circ}E$)可见三叠系红色泥岩向北逆冲到上更新统砾石层上(图 5)。在断裂露头处可观测到平直的断层面,断层倾角较缓,大多为 $40^{\circ} \sim 60^{\circ}$,断面上擦痕显示



图 3 西山断层形成的断崖山岭地貌

断层为逆断性质。



图4 西山断裂 2 号测点耐火材料厂



图5 阜康断裂 4 号测点魏家泉

1.2.3 霍尔果斯-玛纳斯-吐谷鲁断裂 F₃

霍尔果斯-玛纳斯-吐谷鲁断裂全长为 170km,走向近 EW,倾向南,倾角 $40^{\circ} \sim 50^{\circ}$,断层性质为逆断层。该断裂断错 I ~ V 级阶地,属全新世活动断裂,并在 1907 年 5 月 13 日发生 6 级地震,有古地震形变带。8 号测点位于乌鲁木齐市区的红山子 ($44.07^{\circ}\text{N}, 86.53^{\circ}\text{E}$),属霍玛吐(霍尔果斯-玛纳斯-吐谷鲁河)断裂(图 1)。该测点擦痕由第三纪红色地层中所测得(图 6、图 7)除几条擦痕可能由于重力作用使其侧伏角近乎直立,其余擦痕的侧伏角不超过 30° ,擦痕指示断层运动为逆走滑。



图6 霍玛吐断裂 8 号测点红山子



图7 霍玛吐断裂 8 号测点断面断层擦痕

1.2.4 柴窝堡盆地南缘断裂 F₄

柴窝堡盆地南缘断裂总长度超过 100km,总体走向近 EW,有弯曲,倾向南,倾角为 $29^{\circ} \sim 70^{\circ}$ 。此逆冲断裂断错晚更新世洪积台地,属于晚更新世断裂(杨继林, 2005)。11 号测点位于乌鲁木齐市区的乌鲁木齐河出山口 ($43.38^{\circ}\text{N}, 87.20^{\circ}\text{E}$),属柴窝堡盆地南缘断裂(图 1)。测点处断层倾角很陡,最小的为 65° ,最大的近乎直立,断面有清晰的擦痕,擦痕的侧伏角较大,多为 $45^{\circ} \sim 65^{\circ}$,断层性质为逆断层。

1.2.5 二道沟断裂 F₅

二道沟断裂总长度为 130km,西段走向 NEE,中段近 EW,东段为 NW 向,倾向南,倾角

为 $40^{\circ} \sim 70^{\circ}$, 断层错断中更新世 II 级阶地, 形变测量证明现今仍有活动, 属全新世活动断裂。该断裂处 1965 年曾发生 6.6 级地震, 并存在古地震形变带(杨继林等 2005)。13 号测点位于乌鲁木齐市以外 (43.93°N , 88.08°E), 属于二道沟断裂(图 1)。该测点处发育 NW 走向活动断层, 断层的倾角较大, 大部分近乎直立。断层面上擦痕发育, 擦痕的侧伏角约为 $10^{\circ} \sim 45^{\circ}$, 该断层为走滑断层。

1.2.6 独山子-安集海断裂 F_{10}

独山子-安集海断裂的总体走向近 EW, 倾向南, 倾角为 $40^{\circ} \sim 60^{\circ}$, 是 1 条全新世活动断裂。断层错断 I ~ IV 级阶地, 地表形成陡坎(冯先岳, 1995)。16 号测点位于独山子炼油厂以南 (44.31°N , 84.84°E), 属于独山子-安集海断裂(图 1)。该测点处可见中新世地层逆冲到晚更新世深黄色沙土层上, 显示断层为逆冲性质。地貌上表现为山鞍式地形或沟槽。在探槽内的新鲜断面上测得擦痕, 较多的小擦沟显示该断裂活动较为强烈, 擦痕侧伏角大都为 $20^{\circ} \sim 30^{\circ}$, 较为平缓, 显示断层以走滑运动为主(图 8)。

1.3 NW 向断裂

1.3.1 红雁池断裂 F_4

该断裂位于博格达峰南麓, 沿红雁池南-柳树沟口-白杨沟一线延伸, 向西被覆盖, 总长度约 35km。总体走向为 NWW, 在柳树沟以西, 走向约 290° , 以东转向 70° ; 断面较陡, 倾角约为 58° 。6 号测点 (43.70°N , 87.58°E) 位于乌鲁木齐市区内南端的红雁池水库, 属红雁池断裂(图 1)。该断裂是乌鲁木齐市活断层调查的重点目标之一, 其遥感图片影像清晰可见, 第四系厚度为 $0 \sim 40\text{m}$, 基岩断裂破碎带宽 $50 \sim$



图 8 独山子-安集海断裂 16 号测点断面断层擦痕

100m。地震勘探资料表明, 断裂两侧第四系有明显落差, 水准测量结果显示断裂仍有垂直变形(杨继林等 2005)。该测点处断层露头清晰可见, 断层面上发育有清晰的滑动擦痕, 断层擦痕数据由断层的次级断面、主断面和断层泥上测得。其中 NEE 向的一组活动断层的倾角很陡, 近乎直立, 擦痕的侧伏角为 $15^{\circ} \sim 50^{\circ}$, 所指示的断层运动为逆断层运动且带一定的走滑分量。该断裂为晚更新世早期活动断裂, 晚更新世晚期至今全新世活动已不明显(叶民权等 2004)。

1.3.2 依连哈比尔尕断裂 F_7

该断裂总长度为 374km, 走向 NWW, 倾向南, 倾角为 $40^{\circ} \sim 70^{\circ}$ 。1976 年 9 月 18 日曾发生 4.8 级地震, 该断裂属于晚更新世断裂(杨继林等 2005)。12 号测点位于乌鲁木齐市外羊卷沟南 (43.33°N , 87.63°E), 属于依连哈比尔尕断裂。该测点处断层面上擦痕发育, 擦痕指示断层运动为逆。

1.3.3 伊犁盆地北缘断裂(喀什河断裂) F_{11}

伊犁盆地北缘断裂也称喀什河断裂, 总长超过 340km, 走向 NWW, 倾向北, 倾角 $65^{\circ} \sim 85^{\circ}$ 。卫星影象极为清晰, 水系沟谷同步右旋变位, 北盘上升, 南盘下降, 属右旋逆冲走滑断

裂。曾于 1812 年 3 月 8 日发生过尼勒克 8 级地震,地表出现 80km 长的形变带,最大右旋水平位移 4m,垂直位移 2~7m,分析认为该断裂属于晚更新世-全新世断裂活动(冯先岳,1987)。17 号测点位于喀什河北岸阿尔桑萨依沟口北浙尼电站附近(43.71°N,83.61°E),属于喀什河断裂(图 1)。该测点处可见灰紫色泥岩及砂砾岩向南逆冲到晚更新世砂砾层上,断面走向为 280°,倾向北,倾角约 50°,断层面上擦痕非常发育,多向西侧伏,侧伏角为 45°~85°,擦痕指示断层运动为逆(图 9)。



图 9 伊犁盆地北缘断裂 17 号测点断面断层擦痕

2 研究方法简述

利用断层滑动资料反演构造应力张量的方法是通过最新构造运动造成的断裂滑动、古地震构造形迹、地震地表破裂来确定导致构造运动与变形的构造应力张量,这种方法使传统的构造定性分析演进为现代的计算机定量分析。该方法获得的结果表明了地质时期由于最新构造变动,也即现代构造运动引起的地壳上部的构造应力状态。从地质意义上来讲,现今是现代的一部分,现代包括现今。研究表明,现代构造应力场在一定的地质时期具有一定的稳定性(谢富仁等,2004)。利用断层滑动矢量反演构造应力张量的基本思想最初始于 Bott (1959) 的断层滑动机制分析。后 Carey 等(1974、1976)根据 Bott 的原则提出由断层滑动矢量反演构造应力张量的设想和计算方法。此后,Armijo(1978),Angelier 等(1979、1982、1984)、Carey(1979)、Etchecopar(1981)等对该方法不断予以改进,并作了进一步的研究分析,使之逐步完善。1982 年后,又有不少学者将此方法应用于断层解析、构造应力场和震源机制解资料的分析研究,并取得重要成果(Gephart,1982; Hickman,1983; Mercier,1987; 许忠淮等,1984; 谢富仁等,1989; Angelier,1989; 谢富仁等,1993; Plenefisch,1997; 武敏捷,2011、2012),使之成为目前研究构造应力场最有效的方法之一。

该方法根据 1 组含有断层运动特征的断层观测数据来确定这些断层所在区域的构造应力状态。其实质是用计算出的断面上的剪应力方向拟合断面上的滑动方向,也称滑动方向拟合法,最终给出应力张量的 4 个特征参量,即 3 个主应力(σ_1 、 σ_2 、 σ_3)方向和 1 个反映主应力相对量值比关系的应力形因子 $R = (\sigma_2 - \sigma_3) / (\sigma_1 - \sigma_3)$ 。

3 利用断层滑动资料反演构造应力场

利用断层滑动资料反演构造应力张量的方法计算了北天山中东段区域内 17 个测点的断层滑动观测数据,求解出各测点应力张量的 4 个特征参量,即 3 个主应力方向 σ_1 、 σ_2 、 σ_3 和相应的应力形因子 R ,其计算结果较好地反映了研究区现代构造应力场的特征(图 10,表 1)。计算结果显示,断面剪应力与滑动方向拟合的平均偏差角为 11°,表明数据的拟合程度较好,计算结果的可靠程度较高(表 1)。

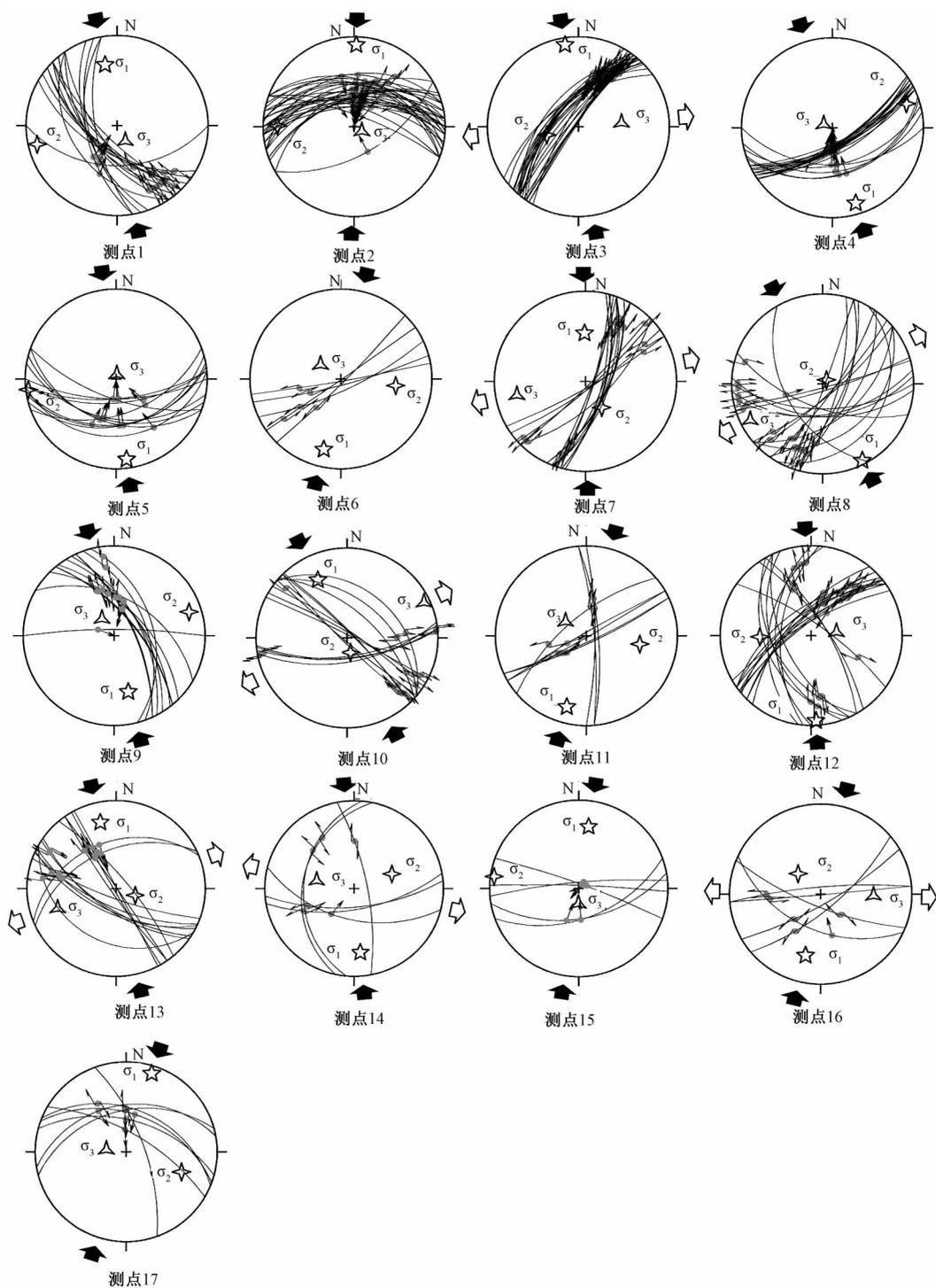


图 10 各测点构造应力场计算结果的乌尔夫网上的投影图(下半球投影)

大圆内的圆弧线为观测断层投影, 附在其上的小箭头为断层擦痕方向; 单箭头指向圆心的为逆断层, 指向圆周的是正断层; 反向双箭头为走滑断层; 大圆外的实体箭头为主压应力方向, 空心箭头为主张应力方向; σ_1 、 σ_2 、 σ_3 为根据断层滑动数据计算出的主应力轴极点

表1 各测点构造应力张量反演计算结果

测点 编号	断裂带名称	测点位置		σ_1		σ_2		σ_3		应力形 因子 R	平均 (s, λ) ($^\circ$)	应力 结构
		E ($^\circ$)	N ($^\circ$)	方位 ($^\circ$)	倾角 ($^\circ$)	方位 ($^\circ$)	倾角 ($^\circ$)	方位 ($^\circ$)	倾角 ($^\circ$)			
1	西山北西向断裂	87.49	43.79	349	21	257	6	152	68	0.54	17	TF
2	西山断裂	87.53	43.80	2	5	271	10	120	79	0.69	11	TF
3	碗窑沟断裂	87.67	43.90	351	5	255	50	85	39	0.24	5	SS
4	阜康断裂	87.83	44.11	163	7	72	9	293	78	0.48	5	TF
5	阜康断裂南支	88.89	43.99	173	6	263	2	8	84	0.75	13	TF
6	红雁池断裂	87.58	43.70	193	12	97	27	305	59	0.23	8	TF
7	雅玛里克断裂	87.67	43.83	359	34	148	52	259	15	0.69	8	SS
8	霍玛吐断裂带	86.53	44.07	153	2	43	83	243	7	0.73	14	SS
9	依连哈比尕尔断裂	87.15	43.22	166	24	72	8	325	64	0.805	13	TF
10	依连哈比尕尔断裂	87.20	43.33	334	18	166	71	65	4	0.75	7	SS
11	柴窝堡盆地南缘断裂	87.20	43.38	195	11	99	28	305	59	0.68	8	TF
12	依连哈比尕尔断裂	87.63	43.33	177	3	269	31	82	59	0.38	17	TF
13	二道沟断裂	88.08	43.93	347	15	110	64	251	21	0.49	15	SS
14	霍玛吐断裂带	86.36	44.11	175	18	68	41	282	44	0.69	13	TS
15	霍玛吐断裂带	85.45	44.18	9	19	278	2	181	70	0.70	6	TF
16	独山子-安集海断裂	84.84	44.31	194	20	313	53	92	30	0.09	12	SS
17	伊犁盆地北缘断裂	83.61	43.71	18	5	110	24	277	65	0.50	12	TF

注:表中(s, λ)为滑动矢量与拟合出的剪应力之间的夹角;TF为逆断型,SS为走滑型,TS为逆走滑型

断层滑动反演计算结果显示,北天山中东段地区现代构造应力场以近SN向挤压为主要特征(表1,图10)。按应力结构的类型可将这些构造应力造成的断层滑动分为逆冲型、走滑型、逆冲兼走滑型3种。

其中,逆冲型的构造应力张量占比最大,为所有构造应力张量结果的59%。其最大主压应力(σ_1)方向为NNW-SSE向(如:349°、163°、173°、166°、177°)或者NNE-SSW向(如:2°、193°、195°、9°、18°),平均倾角11°;最小主压应力(σ_3)近直立,平均倾角为69°;中间主应力(σ_2)方向为近EW,位于72°~110°或者257°~278°之间,平均倾角15°。

走滑型的构造应力张量结果比例占其次,为35%。其最大主压应力(σ_1)方向除只有1个为NNE-SSW向(194°)之外,其余均为NNW-SSE向(如:351°、359°、153°、334°、347°),平均倾角16°,近水平;最小主压应力(σ_3)方向为近EW向(如:85°、259°、243°、65°、251°、92°),平均倾角19°,近水平;中间主应力(σ_2)近垂直,平均倾角62°。

逆冲兼走滑的构造应力张量结果只有1个,占6%。其最大主压应力(σ_1)方向为175°,倾角18°;最小主压应力(σ_3)方向为282°,倾角为44°;中间主应力(σ_2)方向为68°左右,倾角41°。

4 结论与讨论

总的来看,北天山中东段地区现代构造应力场的基本特征在应力方向上表现为近南北向的挤压,这与印度板块与欧亚板块碰撞、使得位于塔里木盆地和准葛尔盆地之间的天山受到强烈挤压有直接关系。在应力结构上表现为以逆冲型为主,兼有走滑型和逆走滑型,表明研究区在南北向这一主要的挤压作用力之下,不同走向的活动断裂即使在同一构造应力作

用之下,也会呈现不同的滑动性质,如北东向断裂以左旋走滑为主,兼有逆冲性质;北西向断裂以右旋走滑为主,亦兼有逆冲性质;而近东西向断裂则呈现逆断性质。

龙海英等(2008a、2008b)利用震源机制解资料反演分析了北天山中东段区域构造应力场的基本特征,结果表明该区域内主压应力 P 轴近南北向,倾角较小;主张应力 T 轴倾角较大,显示区域应力场主要受南北向水平挤压作用。这一结论与本文由断层滑动资料反演计算得到的结果基本一致。两类不同应力资料反演得到的构造应力场特征具有较好的一致性,表明该区域在一个较长的地质时期内构造应力作用存在一定的稳定性。

参考文献

- 邓起东、冯先岳、尤惠川等,1991,新疆独山子-安集海活动逆断裂-褶皱带的变形特征及其形成机制,活动断裂研究,1期,17~36。
- 邓起东、冯先岳、张培震等,2000,天山活动构造,382~385,北京:地震出版社。
- 冯先岳、邓起东、石监邦等,1991,天山南北缘活动构造及其演化,活动断裂研究,(1),1~16。
- 冯先岳,1987,喀什河断裂带古地震研究,内陆地震,9(2),74~77。
- 李锦轶、王克卓、李亚萍等,2006,天山山脉地貌特征、地壳组成与地质演化,地质通报,25(8),895~909。
- 龙海英、高国英、聂晓红等,2008a,北天山地区中强地震震源机制解分析,中国地震,24(1),23~30。
- 龙海英、高国英、聂晓红等,2008b,北天山中东段中小地震震源机制解及应力场反演,地震,28(1),93~99。
- 武敏捷、林向东、徐平等,2011,华北北部地区震源机制解及构造应力场特征分析,大地测量与地球动力学,31(5),39~43。
- 武敏捷、武安绪、徐平等,2012,首都圈地区震源机制解综合研究,中国地震,28(4),393~401。
- 谢富仁、刘光勋,1989,阿尔金断裂带中段区域新构造应力场分析,中国地震,5(3),26~36。
- 谢富仁、祝景忠、梁海庆等,1993,中国西南地区现代构造应力场基本特征,地震学报,15(4),407~417。
- 谢富仁、崔效锋、赵建涛等,2004,中国大陆及邻区现代构造应力场分区,地球物理学报,47(4),654~662。
- 许忠淮、戈澍谟,1984,用滑动方向拟合法反演富蕴地震断裂带应力场,地震学报,6(4),395~404。
- 杨继林,2005,新疆地震局防御自然灾害研究所,《乌鲁木齐城市活断层探测与地震危险性评价项目-目标区初查与主要活断层鉴定研究报告之六-乌鲁木齐市区域地震构造》。
- 叶民权、苏乃秦,2004,活断层与城市建设,城市与减灾,(4),13~16。
- Angelier J,1979, Determination of the mean principal direction of stresses for a given fault population, Tectonophysics, 56, 17~26。
- Angelier J, Tarantola A, Valette B et al, 1982, Inversion of field data in fault tectonics to obtain the regional stress, I. Single phase fault populations: a new method of computing the stress tensor, Geophys J R Astr Soc, 69, 607~621。
- Abgelier J, 1984, Tectonic analysis of fault slip data sets, J Geophys Res, 89(B7), 5835~5848。
- Angelier J, 1989, From orientation to magnitudes in paleostress determinations using fault slip data, J Struct Geol, 11, 37~50。
- Bott M H P, 1959, The mechanism of oblique slip faulting, Geological Magazine, 96(2), 109~117。
- Carey E, Brunier B, 1974, Analyse théorique et numérique d'un modèle mécanique élémentaire appliqué à l'étude d'une population de failles, C R Acad Sci Paris, D279, 891~894。
- Carey E, 1976, Analyse numérique d'un modèle mécanique élémentaire appliqué à partir des stries de glissement, Thèse de 3ème cycle. Tectonique Générale, Univ Paris-Sud, 138。
- Carey E, 1979, Recherche des directions principales de contraintes associées au jeu d'une population de failles, Rev Geogr Phys Geol Dyn, 21, 57~66。
- Etchecopar A, Vasseur G, Daignerier M, 1981, An inverse problem in microtectonics for the determination of stress tensors from fault striation analysis, J Struct Geol, 3(1), 51~55。
- Hickman S H, Zoback M D, 1983, The interpretation of hydraulic fracturing stress measurements: Proceedings, Workshop on Hydraulic Fracturing Stress Measurements. National Academy Press, Washington D C, 44~54。

- Gephart J W , 1982 , Evaluating deviations from the regional stress field using earthquake focal mechanism data , paper presented at Chapman Conference on Fault Behavior and the Earthquake Generation Process , AGU , Snowbird Utah , Oct , 11 ~ 15.
- Mercier J L , Armijo R , Tapponnier P et al , 1987 , Change from late Tertiary compression to Quaternary extension in southern Tibet during the India-Asia collision , *Tectonics* , **6** , 275 ~ 304.
- Plenefisch T , Bonjer K P , 1997 , The stress field in the Rhine Graben area inferred from earthquake focal mechanisms and estimation of frictional parameters , *Tectonophysics* , **275** , 71 ~ 97.
- Armijo R , Cisternas A , 1978 , Un problème inverse en microtectonique cassante , *C R Acad Sci Paris* , **D287** , 595 ~ 598.

Active fault sliding and recent tectonic stress field in the northern Tianshan Mountains

Zhang Hongyan Xie Furen Cui Xiaofeng Du Yi

Key Laboratory of Crustal Dynamics , Institute of Crustal Dynamics , CEA , Beijing 100085 , China

Abstract Using the Sliding Direction Fitting Method to invert the fault slip data measured on the critical tectonic position of the main active faults in the middle-eastern part of northern Tianshan Mountains , we got 17 tectonic stress tensors and obtained the basic characteristics of tectonic stress field in the research area. The inverted result shows that the recent tectonic stress field in middle-eastern part of northern Tianshan Mountains is characterized by near N-S maximum compressional stress , and the stress regime is mainly of reverse slip , with some cases of strike slip. This result inverted from fault slip data is greatly matched with that obtained from focal mechanism solutions in this region and it indicates that the tectonic stress action has good stability in a long geological period time.

Key words: Fault slip Tectonic stress field Middle-eastern part of northern Tianshan Mountains