

利用应变场和基线变化率研究新疆南天山地区近期地壳运动特征*

李杰^{1,2}, 刘代芹², 王琪³, 王晓强², 朱治国²

(1. 中国地质大学(武汉)地球物理与空间信息学院, 湖北 武汉 430070; 2. 新疆维吾尔自治区地震局, 新疆 乌鲁木齐 830011; 3. 中国地震局地震研究所, 湖北 武汉 430071)

摘要: 利用 GPS 数据研究南天山地区地壳运动特征, 截取了该区域 2005 ~ 2009 年 GPS 数据, 在统一框架下进行解算, 并绘制出不同时段的主应变、剪应变以及基线变化速率等图像, 研究表明该区域的地壳形变具有自西向东、自南向北减弱的特点, 主压应变主要表现为受印度板块向北推挤而形成的近南北向压性应力场。2005 ~ 2009 年基线变化速率表明, 以喀什沿经线南北向为界, 其东部区域基本上为压缩区, 其西部区域基本上为拉张区, 东部的基线缩短平均速率 (4.84 mm/a) 大于西部基线伸长的平均速率 (3.06 mm/a), 以喀什沿纬线东西向为界, 其南部区域基线变化平均速率 (5.58 mm/a) 明显高于北部区域基线变化平均速率 (3.52 mm/a), 且伸长、压缩变化速率最大基线均在南部地区, 说明南部区域受到塔里木块体和青藏高原挤压比较强烈, 表明喀什南部区域地壳运动相对活跃。

关键词: 地壳运动; 应变场; 基线变化; GPS; 新疆南天山地区

中图分类号: P315.727

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2012)01-0059-07

0 引言

新疆南天山地区地处印度板块与欧亚板块碰撞的西北端, 是我国大陆受板块运动作用最强烈的地区之一, 也是近百年来中强地震活动最强烈地区之一, 自有地震记录以来, 该地区发生过多次 7 级、8 级地震: 1895 年的塔什库尔干 7 级地震、1902 年阿图什 8.2 级地震、1944 年喀什西南 7 级地震、1955 年乌恰两次 7 级地震、1963 年 3 月阿图什以东 6.9 级地震 (牛安福等, 2003)、1974 年阿克陶西 7.3 级地震、1985 年乌恰东南 7.4 级地震之后又发生 6.8 级地震。此外还有 1998 年的伽师强震群、2003 年 2 月 24 日的巴楚—伽师 M_s 6.8 地震 (建国以来新疆地区人口死伤最多的一次地震) 和 2008 年 10 月 5 日乌恰西的 6.8 级地震。新疆地区如此之多的中强地震引起了众多学者的关注。

GPS 技术的发展与应用能有效地监视研究地区

各地震带的现今构造运动和块体变形, 为中长期地震预报提供区域性地壳运动学和动力学前兆信息。在 20 世纪末, 众多学者就已经开始利用 GPS 开展对南天山地区的地形变观测与研究, 并取得了大量的研究成果 (王琪等, 2000; 党亚明等, 2002; 张永志等, 2004; 杨少敏等, 2008; 王晓强等, 2009), 主要利用速度场结果研究区域构造形变与断层活动。笔者试图通过对南天山地区近几年的 GPS 监测网的观测数据进行分析, 应用区域应变场分布与基线变化对南天山地区近期地壳运动特征进行初步研究, 以探索其变化规律。

1 地质构造及资料应用背景

南天山地区位于天山褶皱带、帕米尔构造弧与塔里木块体 3 个构造单元的衔接地带 (图 1), 各地震构造带之间被深大断裂隔开, 活动断裂极为发育, 地质构造复杂, 是现今构造活动强烈的地区之一。晚新生代以来, 印度洋板块不断向欧

* 收稿日期: 2011-03-06.

基金项目: 新疆维吾尔自治区科学研究与技术开发攻关计划 (200741121)、地震科技星火计划项目 (XH1030)、地震科学联合基金 (A08056) 和新疆地震科学基金 (201117) 联合资助。

亚板块俯冲,致使帕米尔北部抬升,昆仑山向天山推覆,造成两构造系轴面和断面产状分别往山体倾斜,在剖面上构成了叠瓦状构造。第四纪以来,由于断层活动发生逆冲运动,使得天山地壳缩短、褶皱抬升变形。破坏性地震沿断裂频频发生,规模巨大的塔拉斯—费尔干纳断裂带也从此处延伸到我国境内,并影响着该地区的地震活动(沈军等,2006)。

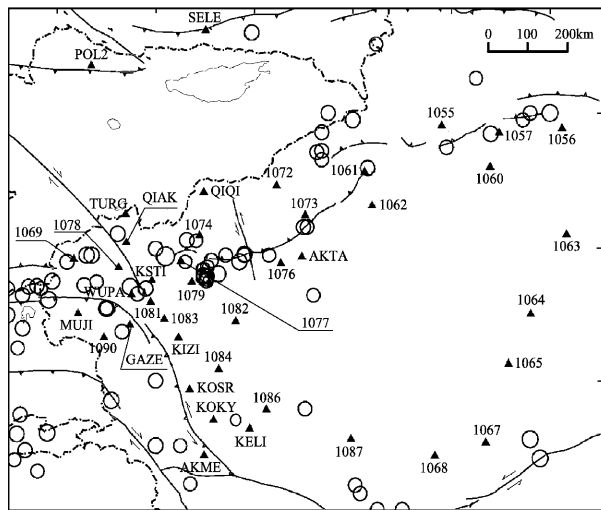


图1 南天山地区地震及台站分布图(▲:南天山地区GPS流动监测点,○:自1853年以来 $M_s > 6.0$ 地震)

Fig. 1 Distribution of earthquakes and seismic stations in South Tianshan area (▲: GPS mobile sites in South Tianshan area, ○: $M_s > 6.0$ earthquakes from 1853)

为了深入研究南天山地区现代构造与地震的关系,1998年新疆地震局在研究区布设了以喀什(基本站)为中心的共43个GPS流动观测点构成的监测网,数据概述及处理方法参见王晓强等(2005)和李杰等(2010)的相关研究。

通过把监测网中任意相邻的3个测点组成三角形,假定三角形内部均匀,可用该面内的主应变的大小 ε_1 , ε_2 和方向 ϕ 来表示形变情况,在已知三角形三条边的方位角和线应变的条件下,利用“应变变化测量原理”(尹祥础,1985),可直接反演出主应变的大小及主轴方向:

$$\varepsilon(i) = \frac{1}{2}(\varepsilon_1 + \varepsilon_2) + \frac{1}{2}(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)\cos 2(\alpha(i) - \phi). \quad (1)$$

式中, $i=1, 2, 3$ 时, $\varepsilon(i)$ 分别对应3条测线的线应变, $\alpha(i)$ 分别是3条测线与 x 轴夹角,以上6个

量是已知值。

2 南天山地区地壳活动性研究

利用多期高精度GPS监测资料,确定区域构造运动及变形的水平运动图像,分析研究区域构造运动与变形的状态和演化过程,获取应变场信息,从理论上描述区域内构造活动的演化过程和发展趋势。在此基础上进行合理的地球动力学解释,使之应用于地震危险性分析及中长期强地震预测是切实可行的。

2.1 南天山地区应变场分析

2.1.1 主应变

通过对2004~2009年的主压应变分布计算(图2),结果表明:南天山地区最大主压应变集中分布在南天山西侧地区,基本上以近南北向主压应变为主。南天山地区构造运动最为活跃,是受印度板块向北碰撞欧亚板块以及帕米尔高原与塔里木块体持续挤压楔入的强烈影响而形成。

2004~2005年主应变分布表明(图2a),在研究区域内最大主压应变集中分布在南天山西部,以北北西向主压应变为主,方向沿塔拉斯—费尔干纳断裂走向,与天山山脉走向基本正交。主压应变值较大的地区集中分布在天山褶皱带上,其中以南天山与西昆仑北缘及帕米尔高原交界地区以及乌什、阿合奇地区较为明显。塔里木块体整体虽然南北向以主压应变为主、东西向以主张应变为主,但整体应变较小,说明塔里木盆地作为一个刚性块体在受印度板块推挤和青藏高原隆起时向北推挤的过程中,其内部速度基本一致,内部构造变形很小,并且通过多年的地震监测发现该块体确实极少发生地震,整个块体较完整,内部没有过多的破裂。从应变分布图2a中可以看出最大主压应变在量值分布上基本上沿天山、帕米尔、西昆仑一侧,在喀什、乌恰、乌帕尔等地区以及乌什以西、阿合奇、契恰尔等地区较为集中,这可能与2005年乌什6.3级地震有关。

2005~2006年主应变分布(图2b),南天山地区应变场以压应变为主,方向近北北西。在阿克苏地区主应变方向稍有不同,接近北北东方向,应变值不大。阿克苏以东地区主应变接近南北方向,集中在库车、拜城地区。塔里木块体主应变

变化不大，进一步说明了塔里木块体在受印度板块推挤和青藏高原隆起时的向北西推挤的过程，所体现出的刚性块体的特征。

2006 ~ 2007 年研究区域的应力场背景决定了南天山地区以压应变为主，最大主压应变方向接近南北（图 2c）。通过测量发现区域内的主压应变变化不大，体现出一种平稳趋缓的态势。但在不同地区主应变方向有所不同：以喀什为中心 100 km 的区域内主压应变方向接近正南北，其南部地区为北北西，量值接近 $15 \times 10^{-8} \sim 20 \times 10^{-8}$ ；阿克苏地区主压应变也基本为北北西向，量值很小。阿克苏以东地区主应变接近南北方向，集中分布在库车拜城地区。塔里木地区的主压应变与以往相同，主压应变变化极小，作为刚性块体的塔里木在收推挤变形过程中仍旧保持了良好的整体特性。

2007 ~ 2008 年的应力变化情况（图 2d）可以看出，GPS 解算出的主应变在喀什、乌恰、木吉等地北西向张应变较强，其方向与南天山断裂西端垂直，这与 2008 年 3 月于田 7.3 级地震震源机制解结果是一致的，震源机制解结果显示该地震是在北西向拉张作用下产生的破裂过程。在主应变较集中的乌恰以西地区于 2008 年 10 月 5 日发生

了 6.8 级地震，该地震震源机制解反映出走滑错动的特点（高国英等，2010），这也与 GPS 观测结果很吻合，而在阿克陶、英吉沙等地则是北东方向的压应变，其方向与帕米尔弧形断裂相垂直，其它区域主压应变或张应变则较分散。

2008 ~ 2009 年观测计算结果与 2008 年的相比，从南天山主压应变率分布图（图 2e）可以看出，在整个关注的区域内，仍旧以印度板块向北推挤欧亚大陆造成近南北向挤压为主，与近 10 年以来的长期 GPS 观测主压应变结果对照，总体上没有改变。以喀什为中心，主压应变方向近似北北西，和田、皮山以西至库地、克里阳等地区主压应变方向近似北北西，最大值亦分布在上述两个区域。根据近几年的地震震源机制解可知，最大主压应力 P 轴方位基本与新疆主要构造的走向垂直，P 轴方位以北北西向为主，但也存在北东方向的压应力（高国英等，2010）。主应变最大值集中于以喀什为圆心，向西南方向 200 km 至霍什拉甫、向北西方向 100 km 至乌恰，东到伽师的范围。

从 2005 ~ 2009 年不同时段的主压应变分布位置来看，喀什、乌恰一带主应变较为集中，集中区主应变方向为北北西，而阿克苏、和田一带为

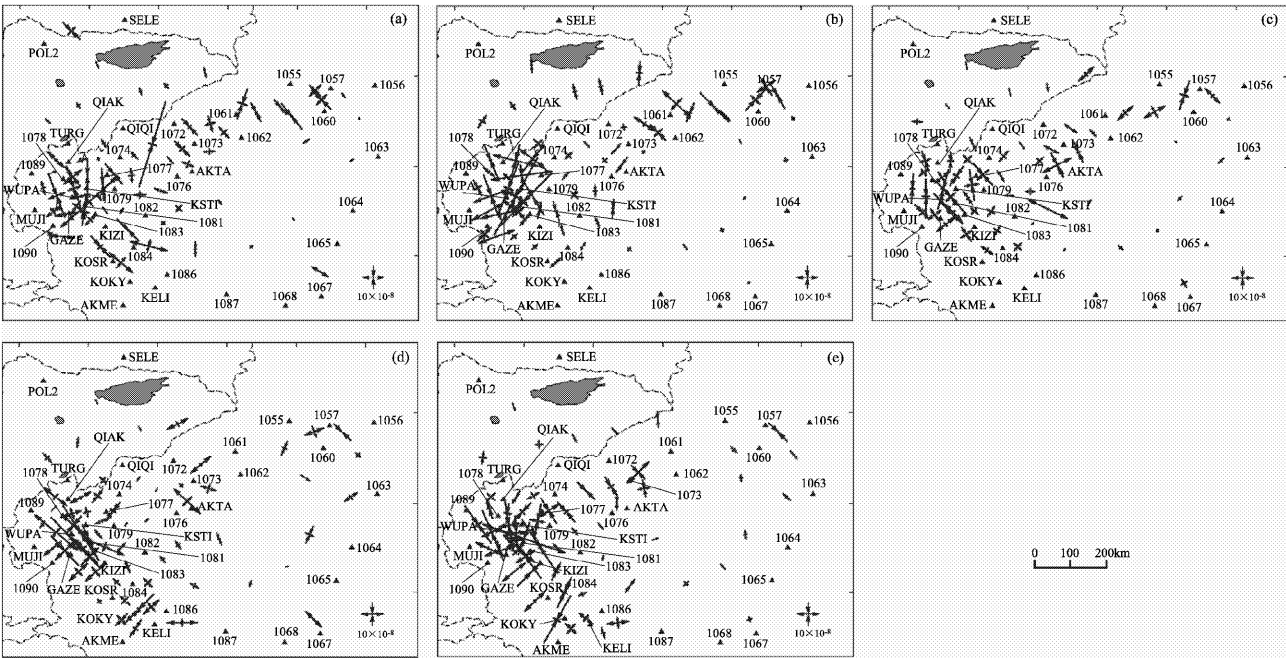


图 2 新疆南天山地区主应变分布图

(a) 2004 ~ 2005 年；(b) 2005 ~ 2006 年；(c) 2006 ~ 2007 年；(d) 2007 ~ 2008 年；(e) 2008 ~ 2009 年

Fig. 2 Principal strain distribution in South Tianshan area, Xinjiang

北北东, 表现为受印度板块向北推挤而形成的近南北向压性应力场。由于这一区域构造应力场比较复杂, 受多个构造单元影响, 因此某个区域具体的应力应变状态可能会受特定块体 (如青藏高原、帕米尔高原、塔里木盆地) 的影响而变化。

2.1.2 剪应变

图 3 给出了 2004 ~ 2009 年南天山地区最大剪应变率分布结果, 从图 3 可以看出, 最大剪应变的年度变化在地域分布上虽然有差异, 但基本上仍旧以南天山推覆带、塔里木盆地西北与帕米尔弧形断裂所围区域为中心而集中存在。

2004 ~ 2005 年剪应变分布 (图 3a) 表明, 2005 年 2 月 15 日在乌什以北地区发生 6.3 级地震后, 该地区的最大剪应变值从乌什以北地区移到了乌什西、阿合奇 (I072)、契恰尔 (QIQI) 以及巴楚 (I076)、夏胡尔 (AKTA)、克拉克钦 (I075) 以北地区之间, 量级大约在 40×10^{-8} 。乌什 6.3 级地震结束后, 其能量依旧没有释放完毕, 在另外一个新的邻近区域重新聚集, 同时在喀什 (KSHI)、乌恰 (I078) 以及乌帕尔 (WUPA)、阿克陶 (I081) 地区也出现了新的高值区, 与 6.3 级地震震源机制解的结果一致。

2005 ~ 2006 年剪应变分布情况 (图 3b) 总体

来看, 以 I077 (苏滚) 为中心, 与周边 I079 (伽师)、I074 (哈拉峻)、I081 (阿克陶)、KSHI (喀什)、I078 (乌恰)、QIAK (恰克马克) 所围成的半径 100 km 的区域内, 是最大剪应变集中分布区域, 从图 2b 上可以看出, 该区域主压应变方向为北北西向。从南天山地区 2006 ~ 2007 年剪应变分布图 (图 3c) 上看, 巴楚 (I076)、夏胡尔 (AKTA)、I073 (柯坪) 等地所围的区域内, 是最大剪应变集中分布区域。与以往的结果相比, 乌什、阿克苏地区与喀什西南地区也有较高的剪应变值存在。但与以往比较量值相差不大, 反映了整个南天山地区的应变能量呈现出一种平稳态势。

从 2007 ~ 2008 年南天山地区的剪应变分布情况 (图 3d) 可以看出, 在喀什、木吉、阿克陶、布伦口、克孜勒等地围成的区域内有一个较强的剪应变高值区, 其中心最大值约为 30×10^{-8} , 剪切方向应为北偏东, 该项 GPS 野外观测工作在 2008 年 8 月底结束, 10 月 5 日在其西部剪应变高值区边缘发生了 6.8 级地震, 这个高剪应变值的出现, 和该次 6.8 级地震密不可分, 可能是此次地震的前兆异常反应, 这与 2003 年巴楚—伽师 6.8 级地震、2005 年乌什 6.2 级地震前的剪应变出现高值情况是一致的。

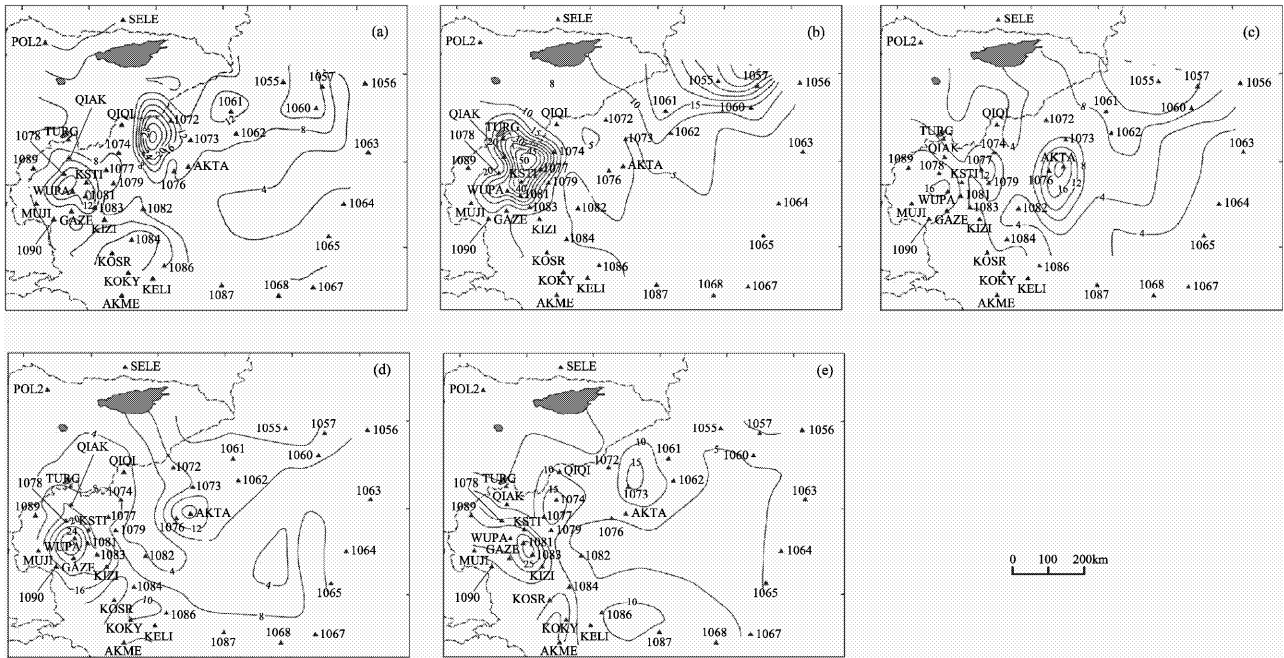


图 3 新疆南天山地区剪应变分布图

(a) 2004 ~ 2005 年; (b) 2005 ~ 2006 年; (c) 2006 ~ 2007 年; (d) 2007 ~ 2008 年; (e) 2008 ~ 2009 年

Fig. 3 Shear strain distribution in South Tianshan, Xinjiang

从 2008 ~ 2009 年最大剪应变分布图（图 3e）可以看出，以喀什西南为主，与柯克雅库地所围成的两个新的最大值区域，剪应变大约为 50×10^{-8} 和 30×10^{-8} ，量级相对较大，说明能量在此处积累。

分析 2005 ~ 2009 年不同时段的最大剪应变情况，最大剪应变主要集中在乌恰、喀什等一带区域，该区域正是天山南缘逆冲断裂最发育的部位，较强的剪切变形与天山南缘的变形活动趋势相对应，近期地震活动也主要集中在该区域。帕米尔弧形断裂与西昆仑北缘断裂及南天山推覆带、塔里木盆地所构成的地区剪应变值最为突出（ $10^{-8}/a \sim 10^{-7}/a$ ），这与杨国华等（2002）、江在森等（2003）的研究结果基本一致。

从历史地震发震记录来看（图 1），南天山地区大部分中强地震集中发生在该地区，从而在一定程度上表明 GPS 结果得出的剪应变值的高度集中说明今后该区域可能发生强震。2003 年 2 月巴楚—伽师 6.8 级和 2008 年 10 月乌恰 6.8 级地震的发生进一步说明了剪应变高度集中的地区可能与强震存在密切的关系（李杰等，2004）。

受板块运动的作用，南天山监测区域的块体运动挤压，使得帕米尔—西昆仑北缘断裂带与南天山山前地震构造带作为应变能量积累地区而形成了目前的强震危险区。江在森等（2003）指出 1997 年以来，南天山地区地震发生在剪应变（最大剪应变、第一剪应变、第二剪应变）的高值区或边缘区。从图 3 可以清楚地看出，在高剪应变集中区或其边缘地带确实存在着发生中强地震的可能。

2.2 利用基线变化率分析南天山地区地壳运动特征

应用 GPS 基线能够较好地反映点位速度场、区域应变场的变化。很多学者就 GPS 基线长度的变化与地震孕育的相关性进行了研究。闫伟等（2007）根据中国地壳观测网络 GPS 基准站连续观测资料研究昆仑山地震前后发生的地震与 GPS 基线长度及方向的变化特征。

笔者利用 2005 ~ 2009 年共 5 期的 GPS 数据，计算出各条基线（以喀什为中心基准，各 GPS 点相对喀什测站的基线长度）的变化量、变化率并且列出了基线的方向。5 年尺度基线的变化速率能较好地反映地壳最近的活动，是分析判别近期有

无形变异常的基础。从伽师及邻近地区基线变化量（变化速率）可以看出（表 1），该区域大部分基线都在缩短，变化最大的基线为喀什—皮山，变化速率为 -7.67 mm/a ，说明在该区域东南方向压缩最强烈。另外，喀什—苏滚、喀什—乌恰、喀什—乌鲁克恰提、喀什—布伦口、喀什—木吉这 5 条基线变化为正值（伸长），变化最大的基线为喀什—木吉，变化速率为 $+6.46 \text{ mm/a}$ ，说明在该区域西南、以及西部方向上呈现拉张趋势。

从新疆南天山地区基线变化整体统计分析（图 4），以喀什沿经线南北向为界，可以看出喀什东部区域基本为压缩区，其西部区域基本为拉张区，其东部的基线缩短平均速率（ 4.84 mm/a ）大于西部基线伸长的平均速率（ 3.06 mm/a ）。以喀什沿纬线东西向为界，其南部区域基线变化平均速率（ 5.58 mm/a ）明显高于北部区域基线变化平均速率（ 3.52 mm/a ），且伸长、压缩变化速率最大基线均在南部地区，这也表明喀什南部区域地壳运动相对活跃。

从基线线应变结果上看，位于喀什南部地区的阿克陶、英吉沙线应变值最大，分别为 -16.35 和 -7.18 ，反映了块体推覆挤压背景下的南天山地区强烈的南北向压应力构造活动特征。在喀什东西两侧的基线变化则反映了南北向挤压趋势下运动块体向东西方向拉伸逃逸的趋势（如喀什至苏滚基线线应变为 5.84 ，喀什至布伦口为 1.59 ）。

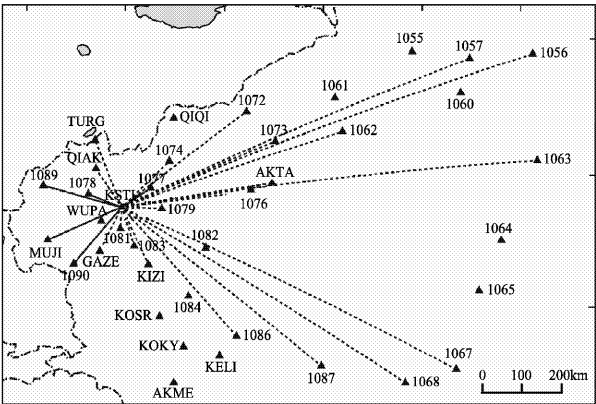


图 4 新疆南天山地区基线变化分布图
（虚线代表缩短、实线代表伸长）
Fig. 4 Distribution of baselines variation in South Tianshan, Xinjiang (dotted line represents shorten, solid line represents elongation)

表 1 南天山地区基线变化量、年变速率表

Tab. 1 Variation and annual changing rate of the baselines in South Tianshan area

基线名称	基线长度/m		基线变化量	基线年变速率	基线线	方向	备注
	2005 年	2009 年	/mm	/mm · a ⁻¹	应变值		
KSHI - AKTA	264 104. 416 64	264 104. 400 77	- 15. 87	- 3. 97	- 1. 50	NEE	喀什—夏胡尔
KSHI - GAZE	83 117. 055 57	83 117. 036 72	- 18. 85	- 4. 71	- 5. 67	SW	喀什—盖孜
KSHI - I056	746 786. 931 19	746 786. 905 61	- 25. 58	- 6. 40	- 0. 86	NE	喀什—轮台
KSHI - I057	643 928. 788 65	643 928. 768 51	- 20. 14	- 5. 04	- 0. 78	NE	喀什—库车
KSHI - I062	401 190. 887 34	401 190. 870 01	- 17. 33	- 4. 33	- 1. 08	NE	喀什—阿瓦提
KSHI - I063	723 588. 512 32	723 588. 492 60	- 19. 72	- 4. 93	- 0. 68	NEE	喀什—塔中北
KSHI - I067	652 602. 044 11	652 602. 018 11	- 26. 00	- 6. 50	- 1. 00	SE	喀什—民丰
KSHI - I068	584 012. 508 83	584 012. 482 31	- 26. 52	- 6. 63	- 1. 14	SE	喀什—于田
KSHI - I072	267 153. 610 84	267 153. 601 33	- 9. 51	- 2. 38	- 0. 89	NNE	喀什—阿合奇
KSHI - I073	287 470. 988 46	287 470. 970 06	- 18. 40	- 4. 60	- 1. 60	NE	喀什—柯平
KSHI - I074	112 577. 466 98	112 577. 458 53	- 8. 45	- 2. 11	- 1. 88	NE	喀什—哈拉峻
KSHI - I075	182 896. 375 82	182 896. 358 68	- 17. 14	- 4. 28	- 2. 34	NEE	喀什—克拉克钦
KSHI - I077	59 976. 231 03	59 976. 245 03	+ 14. 00	+ 3. 50	5. 84	NE	喀什—苏滚
KSHI - I078	61 942. 820 41	61 942. 827 64	+ 7. 23	+ 1. 81	2. 92	NW	喀什—乌恰
KSHI - I079	69 852. 402 40	69 852. 391 62	- 10. 78	- 2. 70	- 3. 86	NE	喀什—伽师
KSHI - I081	35 718. 857 85	35 718. 834 49	- 23. 36	- 5. 84	- 16. 35	S	喀什—阿克陶
KSHI - I083	68 096. 899 72	68 096. 880 16	- 19. 56	- 4. 89	- 7. 18	SSE	喀什—英吉沙
KSHI - I086	297 133. 135 45	297 133. 104 76	- 30. 69	- 7. 67	- 2. 58	SSE	喀什—皮山
KSHI - I087	443 773. 161 88	443 773. 140 85	- 21. 03	- 5. 26	- 1. 18	SE	喀什—和田
KSHI - I089	140 836. 550 45	140 836. 558 31	+ 7. 86	+ 1. 96	1. 40	NWW	喀什—乌鲁克恰提
KSHI - I090	126 788. 186 69	126 788. 194 74	+ 8. 05	+ 2. 01	1. 59	WS	喀什—布伦口
KSHI - KIZI	106 425. 045 76	106 425. 022 47	- 23. 29	- 5. 82	- 5. 47	SE	喀什—克孜勒
KSHI - MUJI	140 284. 915 94	140 284. 941 77	+ 25. 83	+ 6. 46	4. 60	SWW	喀什—木吉
KSHI - QIAK	78 030. 618 73	78 030. 612 73	- 6. 00	- 1. 50	- 1. 92	NW	喀什—恰克马克
KSHI - TURG	120 135. 841 02	120 135. 827 75	- 13. 27	- 3. 32	- 2. 76	NW	喀什—吐尔杂特

注：正数表示基线伸长，负数表示基线缩短。

研究表明中强地震的孕育是在地壳活动增强的基础上发展的，中强地震的孕育不是局部地段活动的结果，尤其是 6 级以上地震，应该是伴随大区域构造活动的加强，才有足够的能量供给积累区，从而孕育形成大震（吕桂林等，1997）。

3 认识与讨论

利用 GPS 计算结果推算出南天山地区主压应变方位为近南北向，如果设定一个地区大范围内地壳的应力应变方向具有一致性，那么可以论定该地区应变场主应力方位整体上为南北向，且压应力占主导地位，伴随剪切应力作用，而张应力作用微弱，这与地震资料所反映出的区域构造应力场特征是基本吻合。根据南天山地区 1970 ~ 2009 年 5 级以上浅中源地震 P 波初动解（高国英等，2010）：帕米尔—兴都库什，喀喇昆仑至西天山一带 P 轴大多位于南北向和北北西—南南东向，

且多近水平，反映该区受强烈的南北或北北西—南南东向挤压，印度板块向北推挤是其主要动力来源。由于帕米尔地区的地震的深度绝大多数在 20 km 以上，因此地震资料所推断的构造应力场更多地代表了地壳内部应力状态（高国英等，2000，2010），而 GPS 计算得到的应变场则比较准确地反映地表或上地壳的应力应变环境。

两种不同资料推算的相似结果（徐忠淮等，2000）一方面说明了伽师地区岩石圈内上、下地壳应力应变场的一致性，另一方面表明地震及 GPS 形变资料在研究区域应力场上可相互补充，有助于形成对应应力场分布格局更全面、准确的认识。伽师及邻近地区基线变化速率（以喀什为界）表明了该地区南半部地壳运动速率明显要高于北半部地区，说明南部区域受到塔里木块体、青藏高原挤压比较强烈。

南天山区域内布设的 GPS 点数量有限，要全面监测整个南天山的构造活动性远远不够，因此，

在今后的工作中,增加点位的时空密度,同时与国内外专家一起探讨研究,并结合多种地球物理、大地测量等观测资料,对该地区的地壳运动和构造活动可以进行更深入的研究。

参考文献:

- 党亚明,陈俊勇,张燕平,等.2002.利用GPS资料分析南天山地区的地壳形变特征[J].测绘科学,27(4):13-15.
- 高国英,聂晓红,龙海英.2010.2003—2008年新疆区域构造应力场特征探讨[J].地震地质,32(1):70-79.
- 高国英,温和平.2000.帕米尔东北侧现代构造应力场与地震活动特征研究[J].中国地震,16(2):176-184.
- 江在森,马宗晋,牛安福,等.2003.GPS技术应用与中国地壳运动研究的方法及初步结果[J].地学前缘,10(1):71-79.
- 李杰,王晓强,谭凯,等.2010.北天山现今活动构造的运动特征[J].大地测量与地球动力学,30(6):1-5.
- 李杰,王晓强,王琪,等.2004.乌恰伽师地区GPS地壳运动监测网研究[J].内陆地震,18(3):34-39.
- 吕桂林,韩京,陈培善.1997.新疆南天山环境应力场的特征[J].内陆地震,11(3):212-217.
- 牛安福,王琪,江在森,等.2003.伽师地震与区域断层活动研究[J].

- 大地测量与地球动力学,23(1):17-21.
- 沈军,陈建波,王翠,等.2006.2003年2月24日新疆巴楚—伽师6.8级地震发震构造[J].地震地质,28(2):205-212.
- 王琪,丁国瑜,乔学军,等.2000.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,45(14):1543-1547.
- 王晓强,江在森,杨国华,等.2009.基于GPS技术研究新疆巴楚—伽师6.8级地震的地壳形变特征[J].地震研究,32(2):175-181.
- 王晓强,李杰,王琪,等.2005.天山现今地壳运动的形变场分析[J].大地测量与地球动力学,25(3):63-68.
- 徐忠淮,汪素云,高阿甲.2000.地震活动反应的青藏高原东北地区现代构造运动特征[J].地震学报,22(5):472-481.
- 杨国华,李延兴,韩月萍,等.2002.由GPS观测结果推导中国大陆现今水平应变场[J].地震学报,24(4):337-347.
- 杨少敏,李杰,王琪.2008.GPS研究天山现今变形与断层活动[J].中国科学D辑:地球科学,38(7):872-880.
- 尹祥础.1985.固体力学[M].北京:地震出版社.
- 闫伟,牛安福,马秀香,等.2007.以昆仑山口西地震为例研究GPS基线长度与方向对地震的敏感性[J].地震,27(4):85-90.
- 张永志,孙和平,王卫东.2004.利用GPS观测研究新疆伽师地区的水平变形特征[J].地震研究,27(2):179-183.

Research on the Characteristics of Recent Crustal Movement of the South Tianshan Area in Xinjiang through the Strain Field and the Change Rate of Baseline

LI Jie^{1,2}, LIU Dai-qin², WANG Qi³, WANG Xiao-qiang², ZHU Zhi-guo²

(1. Institute of Geophysics & Geomatics, China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China)

(2. Earthquake Administration of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi 830011, Xinjiang, China)

(3. Institute of seismology, CEA, Wuhan 430071, Hubei, China)

Abstract

In a unified framework, we calculate the selected GPS data in the South Tianshan area of Xinjiang from 2005 to 2009, and illustrate the principal strain, the shear strain, and the change rate of baseline in different periods to study the crustal movement in this area. We find that the crustal deformation in this area is decreasing both from west to east and from south to north, and the principal compressive strain features a compressive stress field in a nearly South-North direction, which results from the northward pushing of the Indian Plate. Taking the longitude line through Kashi City as a boundary, we divide the South Tianshan area into east part and the west part. Then, according to the change rate of the baseline from 2005 to 2009, we find that basically the east part is a compression zone, and the west part is an extension zone. The average shortening rate (4.84 mm/a) of the baseline in the east part is greater than the average lengthening rate (3.06 mm/a) in the west part. Then, we find that the average change rate of the baseline (5.58 mm/a) in the south part is greater than that (3.52 mm/a) in the north part. The maximum shortening rate and the maximum lengthening rate of the baseline happens in the south part, which shows that the south part is fiercely compressed by the Tarim Block and the Qinghai-Tibet Plateau, and the crustal movement in the south of Kashi is relatively active.

Key words: crustal movement; strain field; baseline variation; GPS; South Tianshan area in Xinjiang