

李金、王琼, 2015, 2014 年 2 月 12 日于田 7.3 级地震序列震源机制特征分析, 中国地震, 31(1), 110 ~ 120。

2014 年 2 月 12 日于田 7.3 级地震序列 震源机制特征分析

李金 王琼

新疆维吾尔自治区地震局, 乌鲁木齐市新市区科学二街 338 号 830011

摘要 基于新疆及西藏区域数字地震台网的宽频带资料, 采用 CAP 方法反演了 2014 年 2 月 12 日于田 7.3 级地震的前震、主震及早期 $M_s \geq 3.5$ 余震序列的震源机制解。结果显示, 此次 7.3 级强震为带有正断分量的走滑型地震, 结合震源区的构造和余震分布, 节面 I 走向 241° / 倾角 90° / 滑动角 -22° , 判定该节面代表了主震的发震断层面。主震主压力轴方位为 194° , 与该区历史中强震主压应力 P 轴方位近 NS 向较为接近。其 5.4 级前震和主震震源机制解具有较高的一致性。18 次余震中有 10 次为走滑型地震, 其中 6 次为正断型, 2 次为逆断型, 且 70% 的地震的 P 轴方位近 SN 向。此次 7.3 级地震序列震源深度为 5 ~ 28km, 而大部分地震为 15 ~ 20km, 略大于本文得到的主震震源深度 10km。

关键词: 于田 7.3 级地震 震源机制 CAP 方法 余震

[文章编号] 1001-4683(2015)01-0110-11 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

0 引言

北京时间 2014 年 2 月 12 日 17 时 19 分, 新疆维吾尔自治区于田县 ($36.1^\circ\text{N}, 82.5^\circ\text{E}$) 发生 7.3 级强震。根据新疆区域地震台网速报目录, 截至 2014 年 2 月 25 日 00 时 00 分共记录到余震 5249 次, 其中 5.0 ~ 5.9 级地震 1 次, 4.0 ~ 4.9 级 16 次, 3.0 ~ 3.9 级 43 次。此次地震距 2008 年 3 月 21 日于田 7.3 级地震震中 100km, 2008 年于田 7.3 级地震发生于 NW 向西昆仑断裂转向阿尔金断裂带的转换部位, 为 1 次正断型地震。而 2014 年 2 月 12 日地震的发震构造为阿尔金断裂带西段 (图 1) (<http://www.eq-igl.ac.cn/admin/upload/files>), 由中国地震局地球物理研究所网站 (<http://www.cea-igp.ac.cn/tpxw/269348.shtml>) 公布的结果可知, 2014 年于田 7.3 级地震的震源机制为走滑型。因此, 两次 7 级地震的破裂类型有较大差异。此外, 主震发生前 31 小时, 在主震西侧 10km 处发生了 5.4 级前震, 截至 7.3 级主震发生时, 前震序列共记录到 84 次地震。此次 7.3 级强震的余震无论从震级还是数量上 (2008 年于田 7.3 级地震共发生 $M_s \geq 4.0$ 余震 60 次) 均不及 2008 年于田 7.3 级地震。

2014 年 2 月 12 日于田 7.3 级地震发生于青藏高原北缘阿尔金断裂带西南段, 该区属于新疆地震台网监测能力较弱的地区, 距震中 500km 范围内有 7 个台站, 于田台 (YUT) 离震

[收稿日期] 2014-03-11; [修定日期] 2014-06-10

[项目类别] 新疆地震局基金 (201401) 和 2014 年度震情跟踪合同制定向工作任务 (2014020106) 联合资助

[作者简介] 李金, 男, 1986 年生, 工程师, 主要从事数字地震及分析预报工作。E-mail: lijn6205@163.com

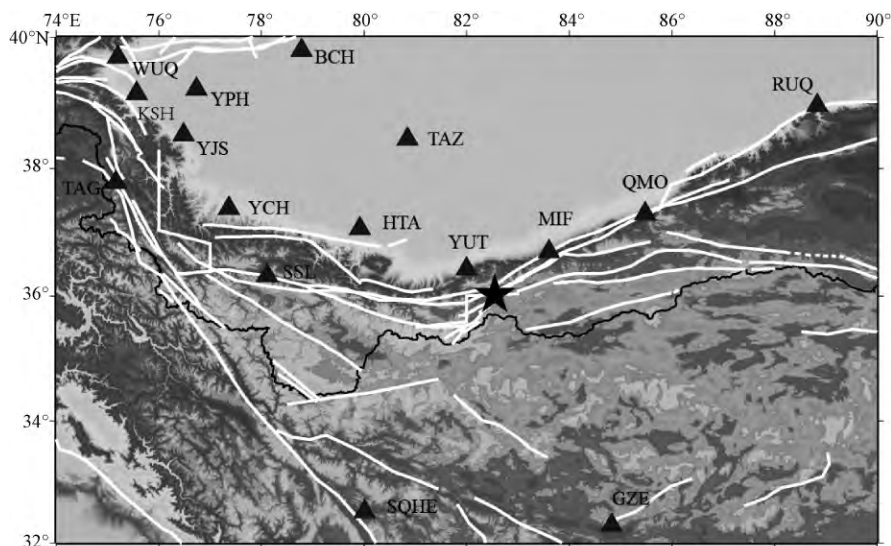


图1 2014年2月12日于田7.3级地震震中周围台站分布图
黑色五角星为主震位置;黑色三角形为台站;白色线条为断层

中最近,约为60km,位于塔里木盆地南缘的台站相对较多,而青藏高原内部台站稀少(图1),造成台网对此次地震的包围效果较差。因此,用P波初动法求解此次地震的震源机制具有一定的局限性。除了P波初动法之外,还可以利用地震波形记录反演震源机制解,该方法即使在台网相对稀疏、数据资料有限的情况下也能得到较可靠的结果(Kanamori et al, 1981; Thio et al, 1995; 马淑田等, 1997; 许力生等, 2004)。近年来国际上发展了“剪切-粘贴”法(Cut and Paste, 简称CAP方法)(Zhao et al, 1994; Zhu et al, 1996),该法同时利用宽频带近震记录的体波(Pnl波)和面波联合反演矩张量解,分别拟合体波和面波,其结果对速度结构和地壳横向差异不敏感。前人的研究表明(韦生吉等, 2009; 郑勇等, 2009),CAP方法在反演震源机制解和确定震源深度方面优势较为明显。

本文利用新疆及西藏区域数字地震台网的宽频带资料,采用CAP方法反演了此次于田7.3级地震主震、前震及部分中等以上余震的震源机制解。

1 方法

本文利用CAP方法(Zhao et al, 1994; Zhu et al, 1996)进行震源机制解反演,其主要思路是利用近震数据把宽频带数字波形记录分为Pnl波和面波,分别拟合Pnl波和面波,再分别计算它们的理论地震图和实际观测波形的目标误差函数,在给定参数空间中进行网格搜索,搜索出最佳深度和震源机制解(韩立波等, 2012)。

考虑到因几何扩散产生的衰减对波形的影响,使用经震中距校正后的绝对误差值作为目标误差函数(Zhu et al, 1996),定义为

$$e = \left\| \left(\frac{r}{r_0} \right)^p \right\| \cdot \|u - s\| \quad (1)$$

式中, r 为震中距; r_0 为选定的参考震中距; p 为比例因子用以保障震中距 r 处的权重与 r_0 相

当; u 为实际地震记录; s 为合成地震图。基于所定义的目标误差函数,采用网格搜索的方法在 M_0 、 θ 、 ϕ 、 δ 、 λ 以及震源深度空间进行搜索,得到最佳的震源机制解、矩震级和震源深度。

在计算理论地震图时,我们采用目前广泛使用的频率-波数($F-K$)法(Zhu et al, 2002)。

2 数据资料 and 速度模型

本研究使用了新疆和西藏区域地震台网的宽频带数字地震波形记录。考虑到数据质量,尤其是体波数据信噪比,选择宽频带地震台的数据进行处理。对选出的宽频带数据去倾斜、除仪器响应并旋转至大圆路径。在计算于田 7.3 级主震的震源机制时,对波形中的 Pnl 波用带宽为 0.02 ~ 0.05 Hz、面波用带宽为 0.01 ~ 0.05 Hz 的带通滤波器进行滤波;对于余震序列,我们根据不同的震级选择不同的滤波频段,如对于 2014 年 2 月 13 日 08 时 07 分发生的 4.5 级地震, Pnl 波的滤波频段为 0.02 ~ 0.2 Hz, 面波的滤波频段为 0.01 ~ 0.12 Hz; 2014 年 2 月 14 日 05 时 06 分发生的 3.7 级地震, Pnl 波的滤波频段为 0.05 ~ 0.12 Hz, 面波的滤波频段为 0.05 ~ 0.1 Hz。而 Pnl 波和面波的相对权重取为 2:1, 一些研究结果(韩立波等, 2012; 吕坚等, 2008)表明这样的权重可以较好地兼顾 Pnl 波和面波的优点。相应地,采用相同的滤波参数对计算得到的理论地震图进行滤波。

利用 CRUST2.0 速度结构模型(<http://igppweb.ucsd.edu/~gabi/crust2.html>)得到该区域的一维速度结构模型,在该速度模型中,地壳厚度约 50 km,分为 5 层(表 1)。

表 1 于田地区分层地壳速度模型

深度范围/km	S 波速度/($\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$)	P 波速度/($\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$)	密度/($10^3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$)
0 ~ 0.95	1.20	2.50	2.10
>0.95 ~ 1.95	2.10	4.00	2.40
>1.95 ~ 21.95	3.50	6.10	2.75
>21.95 ~ 41.95	3.60	6.30	2.80
>41.95 ~ 49.95	4.00	7.20	3.10
>49.95	4.60	8.00	3.35

3 计算结果及分析

采用 CAP 方法,利用距震中 600 km 范围内的 8 个台站的波形资料,解算了 7.3 级主震的震源机制。我们计算了 6 ~ 15 km 间 10 个震源深度下的各台站格林函数,破裂时间设为 12 s,首先在各深度对断层走向、倾角、滑动角以 10° 间隔进行搜索,得到的最佳矩心深度为 10 km(图 2),矩震级为 6.95, P 轴方位 194° ,最佳双力偶机制解节面 I:走向 241° /倾角 90° /滑动角 -22° ;节面 II:走向 331° /倾角 68° /滑动角 -180° 。其理论波形和实际记录对比见图 3,由图 3 可以看出波形拟合较好。结合震源区的地质构造和余震序列分布,判定节面 I 代表了主震的发震断层面,即 2014 年 2 月 12 日于田地震以左旋走滑为主,兼有正断分量。震后中国地震局地震预测研究所用国产 GF-1 型高分辨率卫星数据发现此次地震在确尔库勒盆地南缘造成长约 10 km 的地表破裂带,该破裂带具有明显的正断性质^①,这也印证了本研究结果的可靠性。我们收集了国内外不同研究机构给出的此次 7.3 级地震的震源机制解

① <http://www.cea.gov.cn/publish/dizhenj/464/495/20140224124633392309482/index.html>.

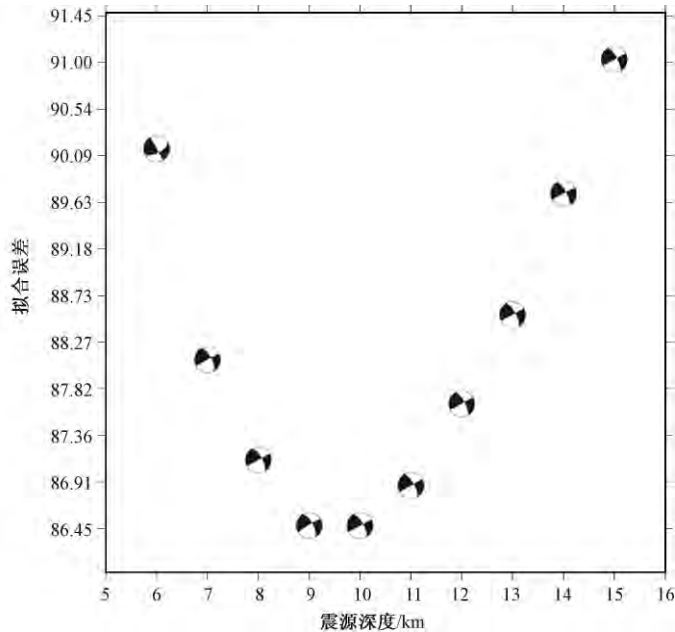


图2 2014年2月12日于田7.3级地震矩张量反演中波形拟合误差随深度的变化

(表2),本研究给出的震源机制解与其他几个研究机构给出的结果均较为接近。此外,我们还计算了7.3级主震前27h发生的5.4级前震的震源机制解(图4),其最佳双力偶机制解为节面I:走向 319° /倾角 68° /滑动角 -169° ;节面II:走向 225° /倾角 80° /滑动角 -22° ,震源深度20km,P轴方位 180° 。结合7.3级主震以及震中构造及余震分布情况,认为节面I为发震断层面。

表2 不同研究机构和研究者给出的2014年于田 $M_s 7.3$ 地震震源机制解

研究单位或研究者	节面 I			节面 II			矩震级 M_w	深度 / km
	走向 / ($^{\circ}$)	倾角 / ($^{\circ}$)	滑动角 / ($^{\circ}$)	走向 / ($^{\circ}$)	倾角 / ($^{\circ}$)	滑动角 / ($^{\circ}$)		
中国地震台网中心 ^②	60	44	-15	160	80	-133	6.9	17
USGS ^③	242	82	-4	332	86	-172	6.9	13.5
中国地震局地震预测研究所 ^④	238	78	-26	334	65	-167	6.9	11
王为民 ^⑤	240	71.9	-2.2	330.6	87.9	-177.8	7.0	10
中国地震局地球物理研究所 ^⑥	239	82	-22	332	68	-171	6.83	12
本文	241	90	-22	331	68	-180	6.95	10

从5.4级前震及主震的震源机制结果可以看出两者具有很好的一致性,反映出构造应力对此次7.3级强震的控制作用。此次7.3级主震和前震破裂机制较为接近,主压应力P

② <http://news.ceic.ac.cn/CC20140212171950.html>

③ http://comcat.cr.usgs.gov/earthquakes/eventpage/usc000mnvj#scientific_moment-tensor.

④ http://www.seis.ac.cn/manage/html/8a9080a125b29b1b0125b2a3093a0002/content/14_02/17/1392627086340.html

⑤ http://www.igg.cas.cn/xwzx/yjg/201402/t20140214_4032524.html

⑥ <http://www.cea-igp.ac.cn/tpwx/269348.shtml>

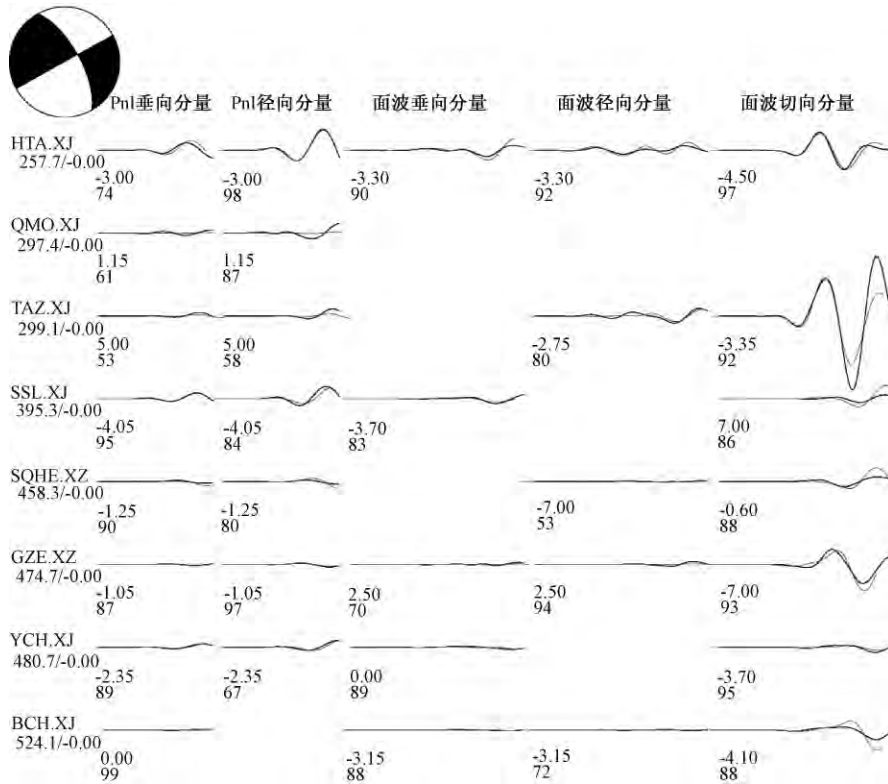


图3 2014年2月12日于田7.3级地震矩张量反演理论地震波形(灰色)与实际观测地震波形(黑色)

波形图下方第1行数字为各段理论地震波形相对实际观测波形的移动时间,正值表示理论观测波形相对观测波形超前;第2行数字为理论波形与观测波形的相关系数百分比;波形图左侧字母为台站,其下数字分别为台站震中距(km)以及理论地震图相对实际观测数据整体移动时间;震源球上黑色区域代表压缩区,白色区域代表拉张区;震源球采用下半球投影

轴方位相差 14° ,与该区历史中强震主压应力P轴方位(近NS向)较为接近。

此外,我们利用CAP方法计算了序列中18次 $M_s \geq 3.5$ 余震的震源机制解(表3、图5),在所有18次地震中有10次为走滑型地震,其中6次为正断型地震,2次为逆断型地震,表明大部分余震的破裂类型与主震以及前震类似。根据表1中计算得到的P轴方位做出此次地震序列的主压应力方位玫瑰图如图6(a)所示,由图6(a)可见,4次地震的P轴方位为 $0^\circ \sim 30^\circ$,10次地震的为 $180^\circ \sim 210^\circ$,由此可见序列中大部分地震的P轴方位和主震的(近SN向)类似,这也与历史中强震主压应力P轴方位较为一致。

CAP反演同时得到了地震的矩震级,由表2所示的 M_s 震级和 M_w 震级来看, $M_s \geq 4.5$ 的地震,其矩震级 M_w 多数小于 M_s 震级(其中有2个 $M_s \geq 4.5$ 地震其 M_w 震级略大于 M_s 震级),而 $M_s \leq 4.5$ 的地震,其 M_w 震级均大于 M_s 震级,该结果基本符合此前对震级的认识,即在较小的震级范围内,矩震级 M_w 与地方震 M_l 较为接近(赵国荣,1994)。表2同时给出了利用CAP程序计算得到的序列震源深度以及地震目录的定位深度。由表2可见,本研究利用CAP得到的震源深度为5~28km(图6(b)),大部分地震在15~20km,略大于本文计算

表 3 2014年2月12日于田7.3级地震主震、前震及早期 $M_s \geq 3.5$ 地震的震源机制解

序号	发震时刻 (年-月-日 T 时:分)	震级 M_s	震级 M_w	定位 深度/ km	CAP 深度/ km	节面 I				节面 II				P 轴		T 轴		B 轴		
						走向/ (°)	倾向/ (°)	滑动角/ (°)	走向/ (°)	倾向/ (°)	滑动角/ (°)	方位/ (°)	倾向/ (°)	方位/ (°)	倾向/ (°)	方位/ (°)	倾向/ (°)	方位/ (°)	倾向/ (°)	方位/ (°)
1	2014-02-11 T 10:14	5.4	5.22	8	20	319	68	-169	225	80	-22	180	23	274	8	22	274	8	22	6
2	2014-02-12 T 17:19	7.3	6.9	9	10	241	90	-22	331	68	180	194	15	288	15	61	288	15	61	68
3	2014-02-12 T 18:00	4.9	4.96	8	22	137	42	-118	352	54	-67	319	71	67	6	159	67	6	159	18
4	2014-02-12 T 19:14	4.6	4.7	8	18	50	43	18	306	77	131	6	22	256	42	116	256	42	116	40
5	2014-02-12 T 20:26	4.2	4.38	7	16	338	31	62	189	63	106	268	17	131	68	3	131	68	3	14
6	2014-02-12 T 22:36	3.4	3.86	6	5	349	63	-168	253	79	-28	208	27	304	11	54	208	27	304	61
7	2014-02-13 T 02:00	4.5	4.41	4	16	229	72	-20	325	71	161	187	27	277	0	9	187	27	277	63
8	2014-02-13 T 03:09	4.9	4.48	6	16	319	68	165	55	76	23	186	5	278	26	85	186	5	278	64
9	2014-02-13 T 04:51	4.2	4.38	7	18	228	59	-4	320	87	-149	189	24	90	19	326	189	24	90	59
10	2014-02-13 T 08:07	4.5	4.26	5	8	182	31	-82	353	59	-95	249	75	86	14	355	249	75	86	4
11	2014-02-13 T 08:08	4.7	4.56	4	14	330	62	-139	217	55	-35	187	48	92	4	358	187	48	92	42
12	2014-02-13 T 15:34	4.1	4.38	6	28	52	90	22	322	68	-180	185	15	279	15	52	185	15	279	68
13	2014-02-13 T 17:51	3.8	4.18	8	19	60	68	15	324	76	157	13	5	281	26	114	13	5	281	64
14	2014-02-14 T 05:06	3.7	3.99	6	19	49	45	-9	145	84	-135	18	35	269	25	152	18	35	269	44
15	2014-02-14 T 05:37	4.0	4.17	5	20	52	71	18	316	73	160	4	1	274	26	97	160	4	1	64
16	2014-02-14 T 09:08	4.1	4.16	8	13	299	70	-167	204	78	-20	161	23	253	5	355	161	23	253	66
17	2014-02-15 T 12:27	3.8	4.18	9	11	329	73	-151	230	62	-19	192	32	98	7	357	192	32	98	57
18	2014-02-15 T 20:00	3.7	4.09	9	7	197	41	-69	350	52	-107	205	75	92	6	1	205	75	92	14
19	2014-02-15 T 20:32	4.6	4.45	7	8	170	39	-100	3	52	-82	312	81	87	6	178	312	81	87	6
20	2014-02-27 T 22:30	3.9	4.25	7	22	224	73	-29	323	62	-161	181	32	275	7	16	181	32	275	57

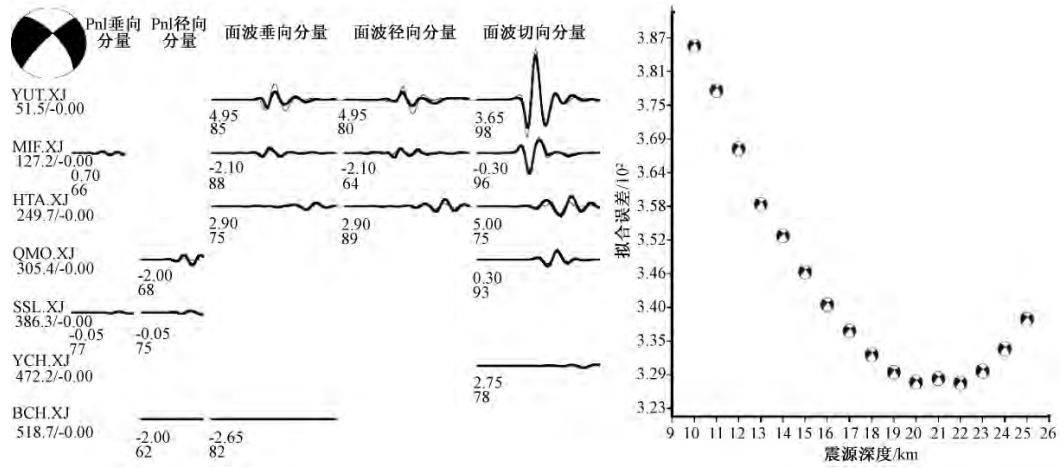


图4 2014年2月11日于田5.4级地震矩张量反演结果

左:矩张量反演理论地震波形(灰色细线)与实际观测地震波形(黑色粗线);

右:波形拟合误差随深度的变化;注释同图3

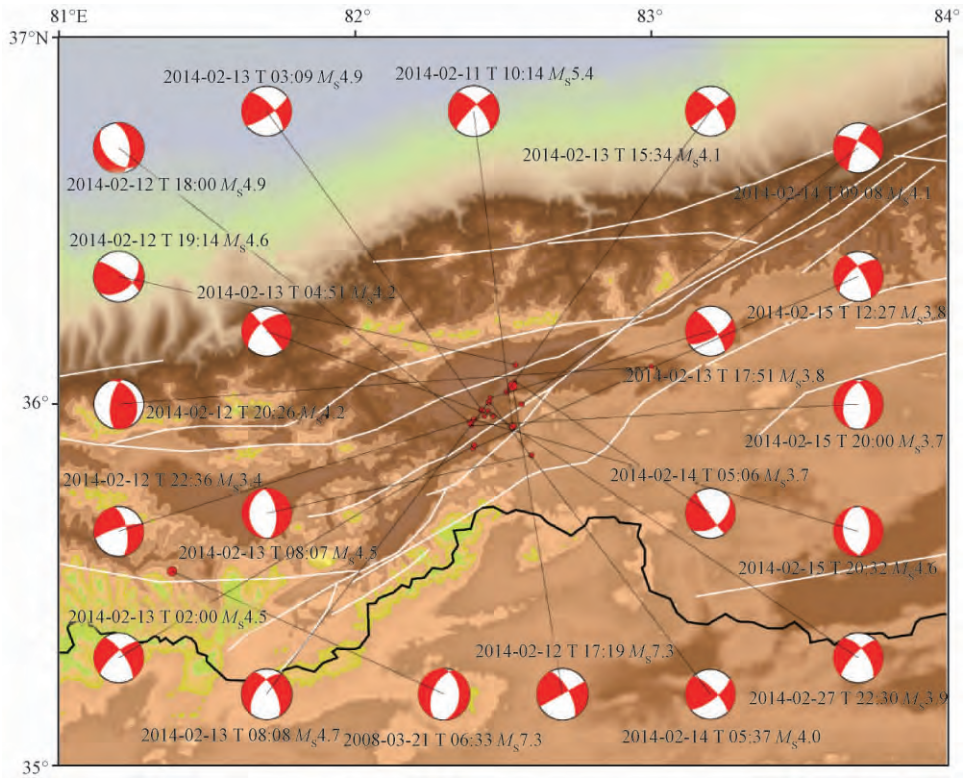


图5 2014年2月12日于田7.3级地震序列及2008年3月21日

于田7.3级地震震源机制解平面图

得到的主震的震源深度10km,而定位深度均在10km以内。其原因可能是震源区附近台站

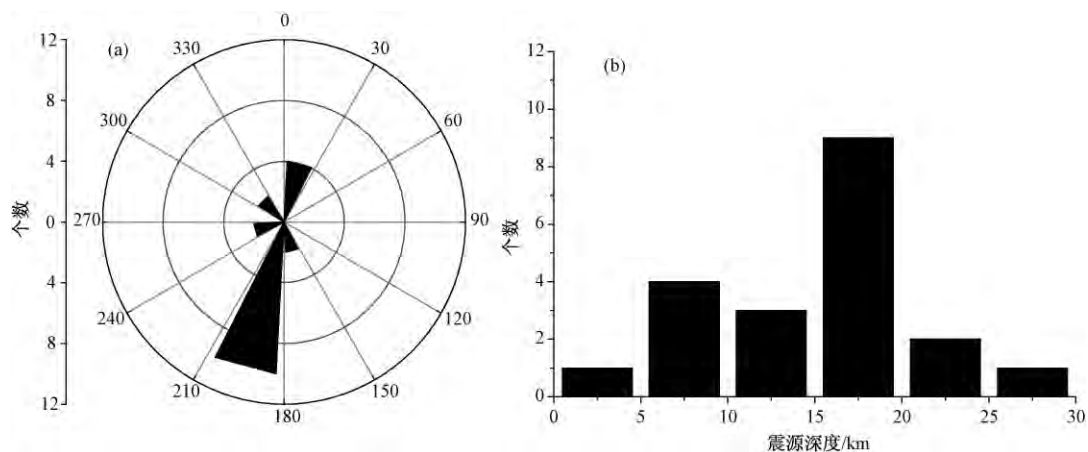


图6 2014年2月12日于田7.3级地震序列震源机制

(a) 主压应力方位玫瑰图;(b) 序列的震源深度分布

较为稀少,造成不同方法得到的深度有所差异。

1997年以来,巴颜喀拉块体边界发生多次7级以上强震,即1997年玛尼 M_w 7.5、2001年昆仑山口西 M_w 7.8、2008年于田 M_w 7.1、汶川 M_w 7.9、2010年玉树 M_w 6.9和2013年芦山 M_w 6.6地震。其中巴颜喀拉块体南边界发生2次7级地震,分别为1997年玛尼 M_w 7.5和2010年玉树 M_w 6.9地震,其最大左旋位移量分别为7m(Peltzer et al,1999)和1.8m(陈立春等,2010);2001年发生在巴颜喀喇地块北边界的昆仑山口西 M_w 7.8地震产生的最大左旋位移量为6.4m(陈杰等,2004)或7.2m(徐锡伟等,2008);发生在东边界龙门山地区的汶川 M_w 7.9地震属于挤压型地震,Xu等(2009)将北川断裂带和彭灌断裂带的平均最大位移量累加得到此次地震造成龙门山地区总的地壳缩短量在8.5m左右;距离此次地震最近的2008年于田 M_w 7.1地震在地表形成长约31km地表形变带,其整体呈SN-NNE向展布、最大左旋位移量为3.6m、最大垂直位移为3.25m的地表形变带(徐锡伟等,2011)。由此可以看出,在此次于田7.3级地震之前,巴颜喀拉块体在整体向东移动的过程中,其块体东部的位移量为6~7m,而块体西端的伸展量仅为3~4m,与整个巴颜喀拉块体向东运动的位移量不协调。此次于田 M_s 7.3地震发生于巴颜喀喇地块西部边界附近,根据王卫民对此次地震震源破裂过程反演的结果,本次地震的最大错动为2.8m左右。由此认为,于田 M_s 7.3地震是巴颜喀喇地块向东挤出的构造响应和应变调整(吴传勇等,2014)。

此外,距离此次地震100km的2008年于田7.3级地震为正断型地震(图5),与此次地震的破裂类型有较大差异。该区域附近发生多次正断型地震(万永革等,2010),该区域的正断层机制是青藏高原沿阿尔金断裂的整体东向运动和兴都库什的北西向运动的共同作用导致了该区域东西向拉张而形成的。2008年于田7.3级地震的发生导致康西瓦断裂东段库仑应力增加 8.0×10^5 Pa、阿尔金断裂带库仑应力增加 1.6×10^3 Pa(万永革等,2010)。另一方面,2008年3月21日于田7.3级地震前震源区及其附近局部应力场和新疆区域应力场的P轴方位也未出现明显变化(王琮等,2009),与此次强震有类似之处,这在一定程度上表明强震受构造应力场的制约,应力方向一般比较稳定。

由以上分析可以看出,2008年和2014年的2次于田7.3级地震均发生在巴颜喀喇地块西边界,此前巴颜喀喇地块发生的多次强震使该块体东移7~8m,从而在块体西边界发生2008年于田7.3级地震,但其东西向位移量仅为3~4m,而此次于田7.3级地震的发生,造成巴颜喀喇地块西边界再次产生东西向拉伸。因此,本次地震是巴颜喀喇地块向东挤出的构造响应和应变调整。

4 结论与讨论

本文通过分析2014年2月12日于田7.3级地震序列震源机制得到如下结论:

(1)根据CAP方法得到了2014年2月12日于田7.3级地震的震源机制解,其P轴方位 194° ;节面I:走向 241° /倾角 90° /滑动角 -22° ;节面II:走向 331° /倾角 68° /滑动角 -180° ,结合震源区的活动构造,判定节面I代表了主震的发震断层面,得到的最佳矩心深度为10km左右。该区历史中强震主压应力P轴方位以近NS向为主,震源区断错性质以走滑为主(王琼,2009),此次7.3级地震与历史地震类似。此次强震前后震源区及其附近应力场的方向未发生明显改变,或许反映了大震或强震往往受控于大范围构造应力场,应力方向一般比较稳定。

2008年于田7.3级地震与此次于田7.3级地震均发生于巴颜喀喇地块西边界,此前巴颜喀喇地块发生的多次强震使该块体东移7~8m,从而在块体西边界发生2008年于田7.3级地震,但其东西向位移量仅为3~4m,而此次于田7.3级地震的发生,造成巴颜喀喇地块西边界再次产生东西向拉伸。因此,本次地震是巴颜喀喇地块向东挤出的构造响应和应变调整。

(2)主震前1天发生的5.4级前震的震源机制解与主震的震源机制具有较高的一致性,所有20次地震中,有12次地震为走滑型,其中6次为正断型,2次为逆断型。从主压应力P轴方位来看,4次地震的P轴方位为 $0^\circ \sim 30^\circ$,10次地震的P轴方位为 $180^\circ \sim 210^\circ$,由此可见序列中大部分地震的P轴方位和主震类似,呈近南北向,与历史中强震主压应力P轴方位较为一致。

(3)从利用CAP反演得到的震级来看, $M_s \geq 4.5$ 地震,其矩震级 M_w 多数小于 M_s 震级,而 $M_s \leq 4.5$ 地震,其 M_w 震级均大于 M_s 震级,该结果基本符合此前对震级的认识。从序列震源深度来看,此次7.3级地震序列震源深度为5~28km,而大部分地震为15~20km,略深于本文得到的主震的震源深度10km,而地震目录给出的定位深度均在10km以内。本研究得到的震源深度大于地震目录给出的震源深度,其原因可能是震源区附近台站较少,造成不同方法得到的深度有差异。

致谢:新疆地震局监测中心为此次研究提供了波形数据。本文在中国地震局地球物理研究所韩立波博士的指导下完成,中国地震局地震预测研究所赵翠萍研究员、郑现博士、罗钧博士,新疆地震局唐兰兰助理研究员、王宝柱助理研究员、唐明帅副研究员给予了诸多帮助,在此表示衷心的感谢。感谢蒋海昆研究员多年的悉心指导。本研究部分图件采用GMT软件绘制。

参考文献

陈杰、陈宇坤、丁国瑜等,2004,2001年昆仑山口西 $M_s 8.1$ 地震地表同震位移分布特征,地震地质,26(3),378~392。

- 陈立春、王虎、冉勇康等,2010,玉树 M_s 7.1 级地震地表破裂与历史大地震,科学通报, **55**(13), 1200 ~ 1205。
- 韩立波、蒋长胜、包丰等,2012,2010年河南太康 M_s 4.6 级地震序列震源参数的精确确定,地球物理学报, **55**(9), 2973 ~ 2981。
- 吕坚、郑勇、倪四道等,2008,2005年11月26日九江-瑞昌 M_s 5.7、 M_s 4.8 地震的震源机制解与发震构造研究,地球物理学报, **51**(1), 158 ~ 164。
- 马淑田、姚振兴、纪晨,1997,1996年3月19日新疆伽师 M_s 6.9 地震的震源机制以及相关问题的研究,地球物理学报, **40**(6), 782 ~ 790。
- 王永革、沈正康、盛书中等,2010,2008年新疆于田7.3级地震对周围断层的影响及其正断层机制的区域构造解释,地球物理学报, **53**(2), 280 ~ 289, doi: 10.3969/j.issn.0001-5733.2010.02.006。
- 王琼、聂晓红、温和平,2009,2008年新疆于田 M_s 7.3 地震前区域地震活动和应力状态特征初步研究,地震学报, **31**(3), 235 ~ 244。
- 韦生吉、倪四道、崇加军等,2009,2003年8月16日赤峰地震:一个可能发生在下地壳的地震?,地球物理学报, **52**(1), 111 ~ 119。
- 吴传勇、张竹琪、赵翠萍等,2014,2014年新疆于田 M_s 7.3 级地震:巴颜喀喇地块侧向挤出的构造响应,地球物理学报, **57**(10), 3226 ~ 3237。
- 徐锡伟、谭锡斌、吴国栋等,2011,2008年于田 M_s 7.3 地震地表破裂带特征及其构造属性讨论,地震地质, **33**(2), 462 ~ 471。
- 徐锡伟、于贵华、马文涛等,2008,昆仑山地震(M_w 7.8)破裂行为、变形局部化特征及其构造内涵讨论,中国科学D辑:地球科学, **38**(7), 785 ~ 796。
- 许力生、陈运泰,2004,从全球长周期波形资料反演2001年11月14日昆仑山地震失控破裂过程,中国科学D辑:地球科学, **34**(3), 256 ~ 264。
- 赵荣国,1994,即将通用的矩震级标准 M_w ——远震震级测定工作综述,国际地震动态, (12), 14 ~ 17。
- 郑勇、马洪生、吕坚等,2009,汶川地震强余震($M_s \geq 5.6$)的震源机制解及其与发震构造的关,中国科学D辑:地球科学, **39**(4), 413 ~ 426。
- Kanamori H, Given J W, 1981, Use of long period surface waves for rapid determination of earthquake source parameters, Phys Earth Planet Inter, **27**(1), 8 ~ 31.
- Peltzer G, Crampé F, King G, et al, 1999, Evidence of nonlinear elasticity of the crust from M_w 7.6 Manyi (Tibet) earthquake, Science, **286**, 273 ~ 276.
- Thio H K, Kanamori H, 1995, Moment-tensor inversions for local earthquakes using surface waves recorded at TERRAScope, Bull Seism Soc Am, **85**(4), 1021 ~ 1038.
- Xu X, Wen X, Yu G, et al, 2009, Co-seismic reverse-and oblique-slip surface faulting generated by the 2008 M_w 7.9 Wenchuan earthquake, China, Geology, **37**(6), 515 ~ 518.
- Zhao L S, Helmberger D V, 1994, Source estimation from broadband regional seismograms, Bull Seism Soc Am, **84**(1), 91 ~ 104.
- Zhu L P, Helmberger D V, 1996, Advancement in source estimation techniques using broadband regional seismograms, Bull Seism Soc Am, **86**(5), 1634 ~ 1641.
- Zhu L P, Rivera L A, 2002, A note on the dynamic and static displacements from a point source in multilayered media, Geophys J Int, **148**(3), 619 ~ 627.

The analysis on the characteristics of the focal mechanisms for the $M_s7.3$ earthquake sequence on February 12, 2014 in Yutian

Li Jin Wang Qiong

Earthquake Administration of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi 830011, China

Abstract Based on the broadband waveforms recorded by the Xinjiang and Tibetan Digital Seismic Networks, we inversed the focal mechanism solutions of the main shock, foreshock and $M_s \geq 3.5$ aftershocks of the $M_s7.3$ earthquake, by using the CAP method. The results showed that the focal mechanism of the main shock had Nodal plane I with strike 241° /dip 90° /rake -22° , and Nodal plane II with strike 331° /dip 68° /rake -180° , and the focal depth was about 10km. Combined with the active geologic structures of the seismic area, Nodal plane I was identified to be the seismogenic fault plane of the main shock. The direction of P-axis for the main shock was 194° , closed to the NS direction of P-axis of history earthquakes this area. The $M_s5.4$ foreshock, main shock and 10 aftershocks were strike-slip earthquakes. 6 aftershocks were normal faulting and 2 aftershocks were thrust type earthquakes. 70% of earthquake in the sequence had near NS direction P-axis. The focal depth of this $M_s7.3$ earthquake sequence distributed 5 ~ 28km, most of the earthquakes occurred within the depth range of 15 ~ 20km, slightly deeper than the focal depth 10km we calculated.

Key words: Yutian $M_s7.3$ earthquake Focal mechanism CAP method Aftershock