

徐志双,任静,谭专条,等. 2022. 利用震源机制解走向判定地震影响场长轴方向[J]. 地震研究, 45(1): 88–99, doi:10.20015/j.cnki.ISSN1000-0666.2022.0010.

Xu Z S, Ren J, Tan Z T, et al. 2022. Determination of the long-axis direction of the seismic influence field using the strike of the focal mechanism solution[J]. *Journal of Seismological Research*, 45(1): 88–99, doi:10.20015/j.cnki.ISSN1000-0666.2022.0010.

## 利用震源机制解走向判定地震影响场长轴方向\*

徐志双, 任 静, 谭专条, 高小跃, 陈雅慧, 杨志高, 李志强

(中国地震台网中心, 北京 100045)

**摘要:** 为了评估以震源机制解走向作为影响场长轴方向的适用性, 以 1970—2020 年 145 个破坏性地震为研究对象, 研究各地震的震源机制解走向和极震区长轴方向之间的偏差, 发现两者平均差值为  $17.0^\circ$ ; 走滑型、逆断型和正断型地震分别占研究地震总数的 56.6%、19.3% 和 6.2%, 其震源机制解走向与极震区长轴方向的平均差值分别为  $16.4^\circ$ 、 $16.2^\circ$  和  $20.6^\circ$ ; 有 82.8% 的地震的震源机制解走向与极震区长轴走向差值小于  $30^\circ$ , 说明该方法是可行的。通过统计研究 2010—2020 年等震线长轴方向明显的 50 个强震震中附近区域历史强震震源机制解走向与极震区长轴方向差值, 结果表明: 有 13 个地震震中 30 km 范围内有历史强震发生, 最近历史强震震源机制解走向与极震区长轴方向差值小于  $30^\circ$  的有 8 个 (62%)。如果在距离地震震中 30 km 以内发生过历史强震, 则可以综合考虑距震中最近的历史强震震源机制解走向和活动断裂走向来判定影响场长轴方向。

**关键词:** 地震影响场; 长轴方向; 震源机制解; 等震线图; 极震区

**中图分类号:** P315.94      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-0666(2022)01-0088-12

doi:10.20015/j.cnki.ISSN1000-0666.2022.0010

## 0 引言

震后的灾害快速评估工作主要是对地震影响范围内的人口、经济、建筑物等进行综合考量, 因此绘制地震影响场是灾害快速评估的第一步。地震发生后, 地震灾害快速评估系统一般依据震中所在区域的烈度衰减关系 (汪素云等, 2000; 张苏平等, 2015) 和活动断裂分布情况绘制地震影响场, 以作为震害评估的基础和应急救援的依据 (刘金龙, 林均岐, 2012)。基于地震烈度衰减关系生成的地震影响场一般为一系列同心椭圆, 椭圆长轴方向取距震中最近的活动断裂的走向。因此, 活动断裂的研究成果直接决定了地震影响场的准确性。然而, 由于发震区域活动断裂的研究程度不同, 有些区域很可能缺乏可靠的活动断层研究成果, 使地震影响场绘制和极震区评估遇

到困难。对于人口分布比较均匀的东部地区, 地震影响场长轴方向的变化对评估结果影响不大, 但对于人口分布非常不均匀的西部地区, 地震影响场长轴方向的变化可能导致评估结果相去甚远。在实际的地震应急工作中, 地震影响场长轴方向和极震区长轴方向相差小于  $30^\circ$  一般视为可接受, 但部分地震的地震影响场长轴方向与实际调查的烈度等震线长轴方向相差较大, 如 2014 年鲁甸 6.5 级、2017 年新疆精河 6.6 级等地震, 导致极震区得不到快速有效的救援。因此, 需采用多种手段对地震影响场进行修正, 如利用余震、震源机制解走向、强震动记录等 (白仙富等, 2011; 王伟钢等, 2011; 陈颀等, 2012, 2015a, b; 杨天青等, 2015; 郑韵等, 2016; 徐志双等, 2020)。

在震后地震应急响应中, 国家和省级地震应急指挥中心已将震源机制解走向作为判别影响场长轴方向的重要依据, 陈颀等 (2015a, b) 也以

\* 收稿日期: 2021-03-22.

**基金项目:** 中国地震局地震科技星火计划项目 (XH20071Y)、中国地震局地震应急青年重点任务 (CEA-EDEM\_202024) 和中国地震台网中心青年科技基金 (QNJJ202021) 联合资助。

**第一作者简介:** 徐志双 (1989-), 高级工程师, 主要从事地震应急相关工作. E-mail: xzs0610@seis.ac.cn.

此手段绘制了2014年新疆于田7.3级、云南鲁甸6.5级地震震动图。前人研究成果和近年来应急经验表明,基于震源机制解走向判别地震影响场长轴方向在一些震例中是切实可行的,即修正后的地震影响场长轴方向与实际调查的极震区长轴方向相符性较好。然而,这一方法是否适用于所有震例,以及评估偏差是多少,目前尚未有系统性的研究成果。鉴于此,本文选取1970—2020年145个 $M \geq 5.0$ 破坏性历史地震,研究其震源机制解走向和极震区长轴方向之间的偏差,考察以震源机制解走向作为判别地震影响场长轴方向是否满足震后快速评估的需求。地震发生后,由于震源机制解产出需要一定的等待时间(约震后30 min),是否可以借鉴活动断层数据库使用方法,在震前准备好历史地震震源机制解走向数据库,震时直接读取震中附近历史强震震源机制解走向作为地震影响场长轴方向?为了检验该方法的可行性,本文对2010—2020年等震线长轴方向明显的50个强震及距震中最近的历史强震震源机制解走向与极震区长轴方向差值进行了统计研究。

## 1 研究资料选取和震例分析

震源机制解一般包含走向( $\varphi_s$ )、倾角( $\delta$ )

和滑动角( $\lambda$ )3个参数,走向和倾角是断层的几何参数,描述发震断层的产状;滑动角是断层的运动参数,表示断层面上的滑动方向。根据滑动角的不同,可将断层分为走滑-近走滑型( $\lambda$ 接近 $0^\circ$ 或 $\pm 180^\circ$ )、正断-近正断型( $\lambda$ 接近 $-90^\circ$ )、逆断-近逆断型( $\lambda$ 接近 $90^\circ$ )和其他类型( $\lambda$ 为其他值)。

本文以1970—2020年在中国大陆发生的破坏性地震为研究对象,整理了震源机制解和等震线资料齐全、等震线具有明显方向性的145个地震,历史地震空间分布如图1所示,除1980年2月14日新疆叶城5.8级地震震源深度达90 km外,其余地震均为浅源地震。震源机制解来源于已发表的研究成果、中国地震台网中心(CENC)和Global CMT目录(Dziewonski *et al.*, 1981, Ekström *et al.*, 2012),等震线图来源于灾评报告、中国地震局和各省地震局发布的烈度图(表1)。对于烈度等震线形状不规则、不易确定极震区长轴方向的地震暂不予考虑,如1975年2月4日辽宁海城7.3级、1976年8月16日四川松潘7.2级、1988年11月6日云南澜沧—耿马7.6级等地震。同一地震存在2个及以上极震区且长轴方向差异明显的地震也不予考虑,如1976年5月29日云南龙陵7.3级、1985年8月23日新疆乌恰7.4级等地震。双震或

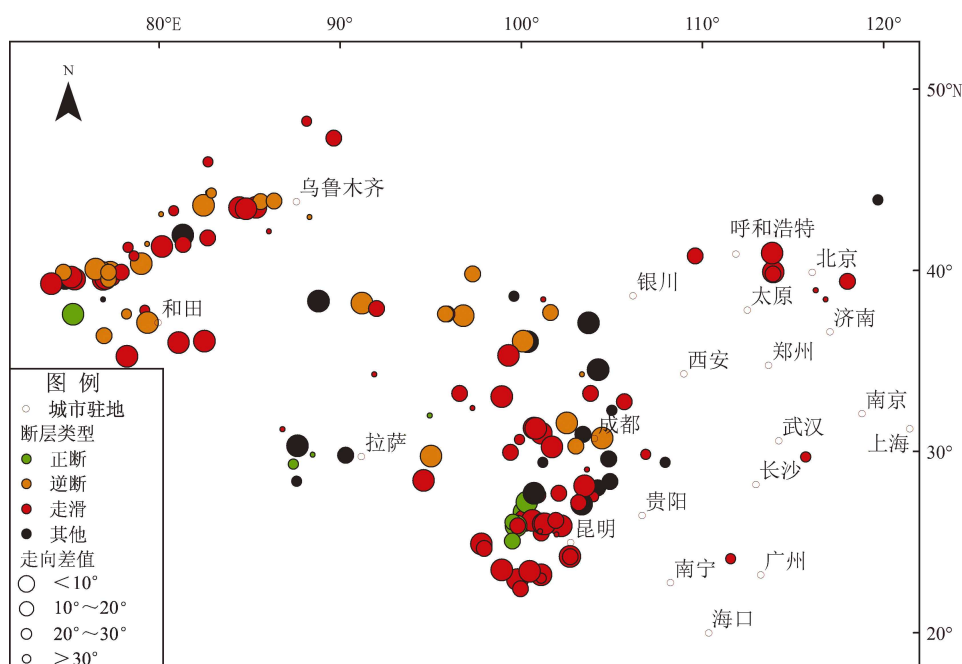


图1 历史地震发震断层类型、震源机制解节面走向与极震区长轴方向差值分布

Fig. 1 Distribution of the seismogenic faults' types and the differences between the strikes of the focal mechanisms and the long-axis directions of the meizoseismal areas for historical earthquake cases

震群取第一个地震的震源参数，存在 2 个长轴方向相近的极震区时，以距主震较近的极震区为研究对象。极震区长轴方向的值由正北方向顺时针旋转至极震区所在方位的角度来表示。发震断层面的判定参照前人研究成果，对于部分无法确定主破裂面的地震，取走向与极震区长轴方向相接近的节面为发震断层面，后文提到的震源机制解走向即为该节面走向。地震的断层类型、震源机制解 2 个节面走向差值、震源机制解节面走向与极震区长轴方向的差值见表 1。

表 1 历史地震详细参数  
Tab. 1 Detailed parameters of the historical earthquakes

序号	发震日期	震级	震中位置	发震 断层 类型	震源机制解	2 个节面 走向差值/ (°)	极震区长 轴方向/ (°)	震源机制解走向 和极震区长轴方 向差值/(°)	震源机制解来源
					走向/倾角/滑动 角或走向/倾角				
1	1970-01-05	7.8	云南通海	SS	302.7°/85.8°	90.3	120	2.7	张之立和刘新美 (1982)
2	1973-02-06	7.6	四川炉霍	SS	124°/88°	91	127	3	魏柏林 (1985)
3	1973-12-31	5.3	河北河间	SS	35°/80°	95.5	71	36	杨锐等 (2011)
4	1976-07-28	7.8	河北唐山	SS	229°/43°/-163°	103	60	11	GCMT
5	1977-01-02	6.4	青海茫崖	RF	98°/61°/65°	136	103	5	GCMT
6	1977-12-19	6.2	新疆伽师	RF	68°/68°/74°	142	58	10	屠泓为等 (2008)
7	1978-10-08	6.0	新疆乌恰	UN	133°/74°/123°	113	114	19	GCMT
8	1979-03-15	6.8	云南普洱	SS	124°/87°/-152°	91	130	6	GCMT
9	1979-03-29	6.2	青海玉树	SS	266°/84°/-15°	92	123	37	GCMT
10	1980-02-14	5.8	新疆叶城	RF	281°/20°/66°	155	85	16	GCMT
11	1981-01-24	6.9	四川道孚	SS	319°/73°/-4°	88	134	5	GCMT
12	1982-07-03	5.4	云南剑川	NF	166°/64°/-90°	181	166	0	GCMT
13	1985-08-23	7.4	新疆乌恰	SS	315°/29°/159°	72	141	6	GCMT
14	1986-03-13	5.4	云南鹤庆南	SS	134°/85°	92	143	9	董国胜 (1990)
15	1986-06-21	6.4	西藏文部	SS	51°/78°/-4°	179	15	36	GCMT
16	1986-08-26	6.5	青海门源	NF-SS	125°/37°/55°	108	124	1	GCMT
17	1987-01-06	5.8	新疆拜城	UN	226°/21°/47°	136	47	1	GCMT
18	1987-01-08	5.8	甘肃迭部	RF	149°/43°	129	108	41	汪进等 (1987)
19	1987-01-24	6.4	新疆乌什	RF	268°/45°/107°	157	125	37	GCMT
20	1987-09-19	5.6	新疆富蕴	SS	154°/90°/180°	90	174	20	GCMT
21	1988-11-05	6.8	青海格尔木	SS	251°/81°/24°	93	105	34	GCMT
22	1988-11-06	7.6	云南澜沧—耿马	SS	330°/88°/185°	—	141	9	王凯等 (1991)
23	1988-11-22	5.7	甘肃肃南	UN	27°/60°	63	2	25	金铭等 (2000)
24	1989-04-16	6.7	四川巴塘	SS	16°/70°	85	160	36	程万正和陈天长 (1994)
25	1989-07-21	5.8	四川巴塘	SS	130°/85°	90	148	18	程万正和陈天长 (1994)
26	1989-09-22	6.6	四川小金	RF	352°/18°/61°	150	162	10	GCMT
27	1989-10-19	5.8	山西大同—阳高	SS	24.9°/172.9°	90.4	30	5.1	朱艾斓等 (1999)
28	1989-11-20	5.4	重庆江北	SS	57°/63°/166°	96	32	25	GCMT
29	1990-01-14	6.6	青海茫崖	SS	338°/39°/157°	109	138	20	GCMT
30	1990-04-17	6.4	新疆乌恰	SS	118°/68°/156°	100	94	24	GCMT
31	1990-04-26	7.0	青海共和	RF-SS	110°/68°/65°	129	112	2	李旭和陈运泰 (1996)
32	1990-10-20	6.2	甘肃天祝—景泰	SS-NF	94°/70°	83	98	4	温增平 (1991)
33	1991-02-25	6.5	新疆柯坪	RF	240°/32°/100°	170	56	4	高国英等 (2005)
34	1991-03-26	5.8	山西大同—阳高	SS	31°/172.9°	91	35	4	朱艾斓等 (1999)
35	1992-04-05	5.9	新疆和田—策勒	SS	78°/84°/-2°	92	78	0	高国英等 (2005)
36	1992-04-23	6.7	中缅交界 (云南)	SS	345°/68°/-173°	93	1	16	GCMT
37	1993-02-03	5.4	新疆和静	SS	240°/70°/175°	95	95	35	高国英等 (2005)

续表 1

序号	发震日期	震级	震中位置	发震 断层 类型	震源机制解	2 个节面 走向差值/ (°)	极震区长 轴方向/ (°)	震源机制解走向 和极震区长轴方 向差值/(°)	震源机制解来源
					走向/倾角/滑动 角或走向/倾角				
38	1993-03-20	6.6	西藏拉孜	NF	161°/46°/-121°	139	139	22	GCMT
39	1993-10-02	6.6	新疆若羌	UN	82°/68°/53°	116	85	3	GCMT
40	1994-01-03	6.0	青海共和	RF	299°/61°/69°	143	129	10	GCMT
41	1994-12-30	5.7	四川沐川	SS	85°/85°	87	46	39	程万正等 (2002)
42	1995-05-02	5.8	新疆乌苏	SS	115°/60°/-166°	104	114	1	高国英等 (2005)
43	1995-10-24	6.5	云南武定	SS	106°/90°/180°	90	99	7	马淑田和赵薇 (1997)
44	1996-01-09	5.2	新疆乌苏	RF	258°/70°/79°	150	91	13	GCMT
45	1996-02-03	7.0	云南丽江	NF	0°/36°/-68°	153	3	3	GCMT
46	1996-03-13	6.1	新疆阿勒泰	SS	327°/80°/-169°	101	120	27	高国英等 (2005)
47	1996-03-19	6.9	新疆阿图什	RF	263°/33°/92°	178	93	10	GCMT
48	1996-05-03	6.4	内蒙包头—固阳	SS	42°/78°/-165°	94	58	16	GCMT
49	1996-11-19	7.1	新疆昆仑山	SS	106°/80°/6°	96	112	6	高国英等 (2005)
50	1996-12-21	5.5	四川白玉—巴塘	SS	294°/78°/-19°	94	139	25	GCMT
51	1997-01-21	6.4	新疆伽师—阿图什	SS	224°/87°/-15°	91	59	15	GCMT
52	1997-03-01	6.0	新疆伽师	SS	32°/65°	32	41	9	苏延秦 (2003)
53	1997-04-06	6.4	新疆伽师	SS	53°/70°	78	55	2	苏延秦 (2003)
54	1998-03-19	6.0	新疆阿图什	RF	175°/38°/42°	125	172	3	杨成荣等 (2002)
55	1998-05-29	6.2	新疆皮山—墨玉	SS	143°/68°/-145°	105	117	26	高国英等 (2005)
56	1998-06-25	5.2	新疆温宿	SS	215°/60°/-25°	115	42	7	高国英等 (2005)
57	1998-07-20	6.1	西藏谢通门	NF	187°/59°/-95°	171	141	46	GCMT
58	1998-07-28	5.5	新疆拜城	SS	98°/50°/-180°	90	80	18	高国英等 (2005)
59	1998-08-27	6.6	新疆伽师—巴楚	SS	54°/70°	85	70	16	苏延秦 (2003)
60	1998-11-19	6.2	云南宁蒗	SS	123°/81°/-169°	92	160	37	GCMT
61	1999-03-15	5.7	新疆库车	SS	78°/25°/-173°	97	62	16	高国英等 (2005)
62	1999-11-01	5.6	山西大同	SS	299°/82°/16°	—	132	13	王焱等 (2002)
63	2000-01-15	6.5	云南姚安	SS	27°/78°/-6°	91	14	13	GCMT
64	2000-09-12	6.6	青海兴海—玛多	SS	343°/80°/170°	92	154	9	GCMT
65	2001-02-23	6.0	四川雅江—康定	SS - NF	223°/86°/-65°	100	21	22	GCMT
66	2001-05-24	5.8	四川盐源	SS	8°/87°/-2°	90	26	18	GCMT
67	2001-10-27	6.0	云南永胜	SS	35°/69°/1°	90	37	2	GCMT
68	2002-12-14	5.9	甘肃玉门	RF	98°/34°/97°	171	118	20	GCMT
69	2002-12-25	5.7	新疆乌恰	SS	274°/40°/24°	114	89	5	高国英等 (2005)
70	2003-02-24	6.8	新疆巴楚—伽师	RF	300°/28°/95°	—	134	14	王卫民等 (2005)
71	2003-04-17	6.6	青海德令哈	RF	115°/60°/90°	180	114	1	孙长虹等 (2012)
72	2003-07-21	6.2	云南大姚	SS	291°/84°/-170°	91	113	2	GCMT
73	2003-08-16	5.9	内蒙巴林	NF - SS	76°/51°/-42°	120	99	23	高孟潭等 (2005)
74	2003-10-16	6.1	云南大姚	SS	108°/89°/-178°	90	105	3	GCMT
75	2003-10-25	6.1	甘肃民乐—山丹	SS	7°/77°/134°	103	150	37	GCMT
76	2003-11-13	5.2	甘肃岷县—临潭	RF - SS	330°/27°/67°	155	118	32	郑文俊等 (2005)
77	2003-12-01	6.1	新疆昭苏	RF	254°/40°	134	108	34	杨欣等 (2005)
78	2004-08-10	5.6	云南鲁甸	SS	66°/89°/175°	90	32	34	GCMT
79	2005-08-26	5.2	新疆墨玉	RF	293°/69°/99°	156	110	3	GCMT
80	2005-11-26	5.7	江西九江—瑞昌	SS	221°/71°/145°	103	68	27	GCMT

续表 1

序号	发震日期	震级	震中位置	发震 断层 类型	震源机制解	2 个节面 走向差值/ 轴方向/ (°)	极震区长 轴方向/ (°)	震源机制解走向 和极震区长轴方 向差值/(°)	震源机制解来源
					走向/倾角/滑动 角或走向/倾角				
81	2006-07-04	5.1	河北文安	SS	110°/65°/8°	94	66	44	杨锐等 (2011)
82	2006-08-25	5.1	云南盐津	UN	232°/57°/130°	123	66	14	GCMT
83	2007-06-03	6.4	云南宁洱	SS	148°/64°/160°	99	170	22	GCMT
84	2008-04-20	5.1	新疆裕民	SS	34°/85°/9°	91	57	23	GCMT
85	2008-05-12	8.0	四川汶川	RF-SS	247°/62°/131°	118	50	17	郭祥云等 (2010)
86	2008-08-21	5.9	云南盈江	SS	7°/80°/178°	90	16	9	GCMT
87	2008-08-30	6.1	四川仁和—会理	SS	100°/86°/180°	90	85	15	GCMT
88	2008-10-06	6.6	西藏当雄	NF-SS	175°/53°/-125°	131	13	18	GCMT
89	2008-11-10	6.3	青海大柴旦	SS	273°/82°/12°	93	113	20	GCMT
90	2009-01-25	5.0	新疆察布查尔	SS	296°/71°/156°	98	89	27	GCMT
91	2009-02-20	5.2	新疆柯坪	SS	153°/72°/154°	99	130	23	GCMT
92	2009-04-19	5.4	新疆阿合奇	SS	40°/80°/-1°	90	250	30	GCMT
93	2009-04-22	5.0	新疆阿图什	UN	126°/66°/-136°	111	257	49	GCMT
94	2009-07-09	6.0	云南姚安	SS	296°/77°/-168°	93	151	35	秦双龙等 (2012)
95	2009-08-28	6.4	青海海西	RF	122°/75°/100°	145	111	11	GCMT
96	2010-02-25	5.1	云南禄丰—元谋	SS	14°/76°/-9°	92	156	38	GCMT
97	2010-04-14	7.1	青海玉树	SS	129°/84°/17°	92	115	14	GCMT
98	2010-06-10	5.3	新疆乌恰	RF	261°/35°/99°	169	94	13	GCMT
99	2011-03-10	5.8	云南盈江	SS	248°/77°/19°	94	54	14	GCMT
100	2011-04-10	5.3	四川炉霍	SS	313°/75°/-7°	92	133	0	GCMT
101	2011-06-08	5.1	新疆托克逊	RF	279°/32°/104°	163	146	47	GCMT
102	2011-08-11	6.0	新疆阿图什	RF	272°/42°/109°	155	103	11	GCMT
103	2011-10-16	5.0	新疆精河	UN	102°/46°/123°	136	153	51	GCMT
104	2011-11-01	5.8	新疆尼勒克	RF	87°/64°/90°	179	95	8	GCMT
105	2011-12-01	5.2	新疆莎车	UN	294°/71°/123°	118	161	47	GCMT
106	2012-06-24	5.7	云南宁蒗—四川盐源	NF-SS	302°/55°/-141°	113	132	10	曾祥方等 (2013)
107	2012-06-30	6.6	新疆新源—和静	SS	293°/62°/152°	104	106	7	刘建明等 (2016)
108	2012-09-07	5.7	云南彝良	SS	251°/66°/150°	103	48	23	吕苗苗等 (2015)
109	2013-03-03	5.5	云南洱源	NF	158°/43°/-99°	168	154	4	赵小艳和付虹 (2014)
110	2013-04-20	7.0	四川芦山	RF	19°/49°/81°	167	35	16	GCMT
111	2013-07-22	6.6	甘肃岷县—漳县	RF-SS	304°/64°/44°	108	123	1	GCMT
112	2014-02-12	7.3	新疆于田	SS	241°/90°/-22°	90	70	9	李金和王琼 (2015)
113	2014-08-03	6.5	云南鲁甸	SS-NF	342°/83°/-34°	94	157	5	赵旭等 (2014)
114	2014-08-17	5.0	云南永善	SS	226°/86°/168°	91	40	6	GCMT
115	2014-10-07	6.6	云南景谷	SS	149°/78°/177°	91	147	2	陈浩和陈晓非 (2016)
116	2014-11-22	6.3	四川康定	SS	143°/85°/-1°	90	145	2	GCMT
117	2015-03-01	5.5	云南沧源	SS	66°/69°/10°	93	65	1	徐甫坤等 (2015)
118	2015-07-03	6.5	新疆皮山	RF	311°/56°/87°	175	109	22	GCMT
119	2015-10-30	5.1	云南昌宁	NF	35°/51°/-64°	142	23	12	GCMT
120	2016-01-21	6.4	青海门源	RF	143°/35°/80°	168	124	19	CENC
121	2016-05-11	5.5	西藏丁青	NF	197°/39°/-104°	163	118	79	GCMT
122	2016-05-18	5.0	云南云龙	NF	150°/54°/-119°	136	165	15	GCMT
123	2016-05-22	5.3	西藏定结—定日	UN	203°/45°/-46°	126	1	22	GCMT

续表 1

序号	发震日期	震级	震中位置	发震 断层 类型	震源机制解	2 个节面 走向差值/ (°)	极震区长 轴方向/ (°)	震源机制解走向 和极震区长轴方 向差值/(°)	震源机制解来源
					走向/倾角/滑动 角或走向/倾角				
124	2016-07-31	5.4	广西苍梧	SS	340°/19°/-18°	102	9	29	姚海东等 (2018)
125	2016-11-25	6.7	新疆阿克陶	SS	110°/78°/-177°	91	102	8	GCMT
126	2016-12-08	6.2	新疆呼图壁	RF	271°/64°/90°	180	110	19	徐志国等 (2019)
127	2017-03-27	5.1	云南漾濞	SS	312°/83°/166°	92	148	16	潘睿等 (2019)
128	2017-05-11	5.5	新疆塔什库尔干	NF	167°/67°/-82°	160	163	4	CENC
129	2017-08-08	7.0	四川九寨沟	SS	151°/68°/-3°	92	140	11	GCMT
130	2017-08-09	6.6	新疆精河	RF	266°/49°/101°	164	110	24	GCMT
131	2017-09-30	5.4	四川青川	UN	263°/57°/135°	118	59	24	GCMT
132	2017-11-18	6.9	西藏米林	RF	285/47/70	152	115	10	GCMT
133	2017-11-23	5.0	重庆武隆	SS-NF	344°/43°/-146°	116	13	29	冯梅等 (2019)
134	2018-08-13	5.0	云南通海	SS	201°/61°/3°	91	9	12	GCMT
135	2018-09-12	5.3	陕西宁强	SS	78°/81°/171°	91	67	11	CENC
136	2018-10-31	5.1	四川西昌	SS	183°/84°/2°	91	168	15	GCMT
137	2018-12-16	5.7	四川兴文	SS	79°/81°/-174°	91	123	44	GCMT
138	2018-12-24	5.8	西藏谢通门	UN	208°/51°/-56°	133	30	2	GCMT
139	2019-01-03	5.3	四川珙县	RF-SS	223°/63°/122°	126	78	35	GCMT
140	2019-04-24	6.3	西藏墨脱	SS	202°/17°/20°	109	16	6	李国辉等 (2020)
141	2019-06-17	6.0	四川长宁	RF-SS	131°/51°/36°	115	115	16	易桂喜等 (2019)
142	2019-12-18	5.2	四川资中	UN	51°/33°/123°	142	65	14	GCMT
143	2020-02-03	5.1	四川成都青白江	RF	25°/34°/100°	168	33	8	CENC
144	2020-04-01	5.6	四川石渠	SS	310°/75°/15°	94	131	1	CENC
145	2020-05-18	5.0	云南巧家	SS	170°/70°/-10°	93	155	15	CENC

注：SS 为走滑断层，RF 为逆断层，NF 为正断层，UN 为未知断层指走滑断层兼具正/逆断分量、正/逆断层兼具走滑分量，以及无法判定发震断层类型的情况。

从表 1 可看出，145 次破坏性地震中，发震断层类型为走滑-近走滑型的有 82 个，占研究地震总数的 56.6%，与谢富仁等（2003）得到的中国及邻区震源机制走滑型占比为 50.3% 相接近；逆断型和正断型各有 28 个和 9 个，占比分别为 19.3% 和 6.2%；走滑断层兼具正/逆断分量、正/逆断层兼具走滑分量，以及无法判定发震断层类型的地震有 26 个，占比 17.9%。华北地区的历史地震全部为走滑型，西北地区以逆断型和走滑型为主，西南地区以走滑型为主。本文研究地震分布最多的省份依次为新疆、云南、四川，分别有 48、32、22 个地震，均以走滑型占比最大。除了走滑型断层以外，新疆以逆断型居多；云南多为正断型，少见逆断型；四川以逆断兼走滑居多，与孙业君等（2017）结论相一致。

除极少部分地震使用单断层模型，或缺乏详尽资料，所研究地震的震源机制解大多给出 2 个节面，节面走向差值与断层类型有关。统计结果显示，走

滑-近走滑型地震 2 个节面方向差值为 71°~115°，平均差值为 93.4°。逆断型和正断型为主地震的 2 个节面走向差值平均为 152.3°和 159.4°。

2 震源机制解节面走向与极震区长轴方向对比分析

145 个地震的震源机制解走向与极震区长轴方向之间的平均差值为 17.0°。其中，走滑型地震震源机制解走向和极震区长轴方向的平均差值为 16.4°，逆断型和正断型地震的平均差值分别为 16.2°和 20.6°，兼具走滑和正/逆断分量或无法判别发震类型地震的平均差值为 17.5°。快速评估工作中，一般认为地震影响场长轴方向与实际调查的烈度等震线长轴方向相差小于 10°为评估结果好、10°~20°为较好、20°~30°为可接受、大于 30°则不能满足评估工作需求。145 个地震中，若采用震源机制解节面走向作为影响场长轴方向，

与极震区长轴走向差值小于  $30^\circ$  的有 120 个, 占研究地震总数的 82.8%; 其中小于  $10^\circ$  的有 57 个 (占比 39.3%)、 $10^\circ \sim 20^\circ$  有 41 个 (占比 28.3%)、 $20^\circ \sim 30^\circ$  有 22 个 (占比 15.2%)、不能满足评估需要的地震有 25 个 (占比 17.2%)。需要说明的是, 差值大于  $45^\circ$  的有 6 个, 分布于新疆 (4 个) 和西藏 (2 个), 均为监测能力较薄弱的西北地区。

陈鲲等 (2015a, b) 在绘制地震震动图时将震源机制解走向作为判断震动图长轴方向的重要依据, 本文的统计分析结果充分支持其结论, 即对于大部分地震 (占本文研究地震总数的 83%), 基于震源机制解走向修正影响场长轴方向是可行的。从震源机制类型来说, 走滑-近走滑型地震 2 个节面方向平均差值接近  $90^\circ$ , 可以综合考虑震中地区地质构造背景、余震分布情况和历史地震震源机制解走向, 来判定发震断层面, 并以其走向修正影响场长轴方向。逆断型和正断型为主的地震 2 个节面走向平均差值接近  $180^\circ$ , 二者近乎呈一条直线时, 可以选择其中一个节面走向修正影响场长轴方向。对于其他发震类型的地震, 同样需借助于地质构造背景、余震分布和历史地震震源机制解走向来综合判定发震断层面, 然后以较为接近的震源机制解走向修正影响场长轴方向。

### 3 以历史强震震源机制解走向判定地震影响场长轴方向

对于中强地震, 其震源机制解携带了震源区断层及应力场的信息, 并且在一定程度上反映了所在区域构造背景下的区域构造应力场和构造运动的特征 (赵翠萍, 2006)。由相同的构造运动引发的地震可能具有一定的规律性 (朱琳等, 2021), 也就是说, 同一个孕震构造块体内发生地震, 在本次地震震源机制解产出之前, 可考虑将震中周边历史强震震源机制解走向作为判定地震影响场长轴方向的约束条件, 以提升地震影响场绘制的准确性和震害快速评估的时效性。

为了检验该方法的可行性, 本文对 2010—2020 年等震线长轴方向明显的 50 个强震及距这些强震震中最近的历史强震参数进行了统计 (表 2)。表 2 显示, 31 个地震震中 100 km 范围内有历史强震, 距震中最近历史强震震源机制解走向与极震

区长轴方向差值小于  $30^\circ$  的有 18 个, 占研究地震总数的 58%; 其中 13 个地震震中 30 km 范围内有历史强震, 差值小于  $30^\circ$  的有 8 个 (占比 62%)。总体而言, 该方法的相符性低于基于震源机制解走向修正影响场长轴方向的方法 (83%), 但部分结果优于基于震源机制解走向的修正结果。如 2010 年新疆乌恰 5.1 级、2016 年青海门源 6.4 级、2016 年云南云龙 5.0 级、2017 年新疆精河 6.6 级、2019 年四川珙县 5.3 级、2020 年云南巧家 5.0 级等地震, 采用距震中最近历史强震 (选取距离震中范围分别为: 新疆乌恰地震为 47 km, 云南云龙地震为 28 km, 其余地震不超过 20 km) 节面走向作为影响场长轴方向, 与极震区的差值减小  $10^\circ$  左右。一些地震极震区长轴方向与最近活动断裂走向不一致, 如 2018 年西藏谢通门 5.8 级地震极震区长轴方向与距震中最近的嘉黎—然乌断裂走向相差  $70^\circ$ , 而与 1998 年西藏谢通门 6.1 级地震震源机制解走向相差仅  $23^\circ$ ; 2020 年云南巧家 5.0 级地震极震区方向与包谷垭—小河断裂走向相差  $34^\circ$ , 而与 2014 年鲁甸 6.5 级震源机制解走向相差  $4^\circ$ ; 2014 年云南景谷 6.6 级地震极震区方向与澜沧江断裂走向相差  $46^\circ$ , 而与 1979 年云南普洱 6.8 级地震震源机制解走向相差  $23^\circ$ 。针对这些地震, 采用距震中最近历史强震震源机制解走向作为影响场长轴方向, 更能满足评估需求。

由于本文研究的地震有限, 在实际应用中, 在地震震源机制解结果产出之前, 仅仅依靠距震中最近历史强震震源机制解走向判定地震影响场长轴方向有一定的限制, 但仍然可以以此作为约束条件之一。其基本思路为: 以区域构造背景为基础, 参考活动断裂分布情况, 若在距离本次地震震中 30 km 范围 (断裂带延伸较长或构造单一的区域可以适当扩大范围) 内发生过历史强震, 则可以综合考虑历史强震震源机制解走向和活动断裂走向来判定影响场长轴方向。需要指出的是, 对于区域构造复杂、震中附近活动断裂丰富的地震, 不宜直接采用震中附近区域历史强震结果, 如 2018 年云南 2 次通海 5.0 级地震, 距震中最近的历史强震为 1970 年通海 7.8 级地震, 2 次地震震中相距约 3 km, 然而二者发震断层分别为 NE 向的小江断裂带中南段西支 (王光明等, 2018) 和 NW 向的曲江断裂 (张之立, 刘新美, 1982), 此时宜采用距震中最近活动断裂走向作为影响场长轴方向。

表2 2010—2020年强震及距震中最近的历史强震参数

Tab. 2 Parameters of the strong earthquake cases from 2010 to 2020 and their nearest historical earthquakes

序号	地震	发震日期	发震 断层 类型	距震中最近的历史强震	距震中最近历史 强震震中距和发 震断层类型	极震区长轴方向与距震 中最近历史强震震源机 制解走向差值/(°)
1	云南禄丰—元谋 5.1 级	2010-02-25	SS	1995-10-24 云南武定 6.5 级	59 km, SS	50
2	青海玉树 7.1 级	2010-04-14	SS	1979-03-29 青海玉树 6.2 级	110 km, SS	29
3	新疆乌恰 5.1 级	2010-06-10	RF	2002-12-25 新疆乌恰 5.7 级	47 km, SS	0
4	云南盈江 5.8 级	2011-03-10	SS	2008-08-21 云南盈江 5.9 级	32 km, SS	47
5	四川炉霍 5.3 级	2011-04-10	SS	1973-02-06 四川炉霍 7.6 级	10 km, SS	9
6	新疆托克逊 5.1 级	2011-06-08	RF	1993-02-03 新疆和静 5.4 级	204 km, SS	86
7	新疆阿图什 5.8 级	2011-08-11	RF	1977-12-19 新疆阿图什 6.2 级	8 km, RF	35
8	新疆精河 5 级	2011-10-16	UN	1995-05-02 新疆乌苏南 5.8 级	167 km, SS	38
9	新疆尼勒克 5.8 级	2011-11-01	RF	2011-10-16 新疆精河 5.0 级	80 km, UN	7
10	新疆莎车 5.2 级	2011-12-01	UN	1997-03-01 新疆伽师 6.0 级	122 km, SS	51
11	云南宁蒗—四川盐源 5.7 级	2012-06-24	NF-SS	2001-05-24 四川盐源 5.8 级	23 km, SS	56
12	新疆新源—和静 6.6 级	2012-06-30	SS	1995-05-02 新疆乌苏南 5.8 级	30 km, SS	9
13	云南彝良 5.7 级	2012-09-07	SS	2004-08-10 云南鲁甸 5.6 级	52 km, SS	18
14	云南洱源 5.5 级	2013-03-03	NF	1986-03-13 云南鹤庆 5.4 级	59 km, SS	20
15	四川芦山 7.0 级	2013-04-20	RF	2008-05-12 四川汶川 8.0 级	81 km, RF-SS	32
16	甘肃岷县—漳县 6.6 级	2013-07-22	RF-SS	2003-11-13 甘肃岷县—临潭 5.2 级	36 km, RF-SS	27
17	新疆于田 7.3 级	2014-02-12	SS	1992-04-05 新疆策勒 5.9 级	129 km, SS	8
18	云南鲁甸 6.5 级	2014-08-03	SS-NF	2004-08-10 云南鲁甸 5.6 级	28 km, SS	89
19	云南永善 5.0 级	2014-08-17	SS	2006-08-25 云南盐津 5.1 级	70 km, UN	12
20	云南景谷 6.6 级	2014-10-07	SS	1979-03-15 云南普洱 6.8 级	68 km, SS	23
21	四川康定 6.3 级	2014-11-22	SS	1981-01-24 四川道孚 6.9 级	100 km, SS	6
22	云南沧源 5.5 级	2015-03-01	SS	1988-11-06 云南澜沧—耿马 7.6 级	108 km, SS	85
23	新疆皮山 6.5 级	2015-07-03	RF	1998-05-29 新疆皮山—墨玉 6.2 级	90 km, SS	34
24	云南昌宁 5.1 级	2015-10-30	NF	2013-03-03 云南洱源 5.5 级	95 km, NF	45
25	青海门源 6.4 级	2016-01-21	RF	1986-08-26 青海门源 6.5 级	11 km, NF-SS	1
26	西藏丁青 5.5 级	2016-05-11	NF	1979-03-29 青海玉树 6.2 级	227 km, SS	32
27	云南云龙 5.0 级	2016-05-18	NF	2013-03-03 云南洱源 5.5 级	28 km, NF	7
28	西藏定结—定日 5.3 级	2016-05-22	UN	1993-03-20 西藏拉孜 6.6 级	106 km, NF	20
29	广西苍梧 5.4 级	2016-07-31	SS	2005-11-26 江西九江—瑞昌 5.7 级	690 km, SS	32
30	新疆阿克陶 6.7 级	2016-11-25	SS	1978-10-08 新疆乌恰 6.0 级	67 km, UN	31
31	新疆呼图壁 6.2 级	2016-12-08	RF	1996-01-09 新疆乌苏 5.2 级	60 km, RF	32
32	云南漾濞 5.1 级	2017-03-27	SS	2013-03-03 云南洱源 5.5 级	10 km, NF	10
33	新疆塔什库尔干 5.5 级	2017-05-11	NF	2011-12-01 新疆莎车 5.2 级	171 km, UN	49
34	四川九寨沟 7 级	2017-08-08	SS	1987-01-08 甘肃迭部 5.8 级	125 km, RF	9
35	新疆精河 6.6 级	2017-08-09	RF	2011-10-16 新疆精河 5.0 级	15 km, UN	8
36	四川青川 5.4 级	2017-09-30	UN	2017-08-08 四川九寨沟 7.0 级	151 km, SS	88
37	西藏米林 6.9 级	2017-11-18	RF	2016-05-11 西藏丁青 5.5 级	248 km, NF	82
38	重庆武隆 5.0 级	2017-11-23	SS-NF	1989-11-20 重庆江北 5.4 级	114 km, SS	44
39	云南通海 2 次 5.0 级地震	2018-08-13	SS	1970-01-05 云南通海 7.8 级	3 km, SS	66.3
40	陕西宁强 5.3 级	2018-09-12	SS	2017-09-30 四川青川 5.4 级	84 km, UN	16
41	四川西昌 5.1 级	2018-10-31	SS	2001-05-24 四川盐源 5.8 级	117 km, SS	20



续表 2

序号	地震	发震日期	发震 断层 类型	距震中最近的历史强震	距震中最近历史 强震震中距和发 震断层类型	极震区长轴方向与距震 中最近历史强震震源机 制解走向差值/(°)
42	四川兴文 5.7 级	2018-12-16	SS	2006-08-25 云南盐津 7.0 级	78 km, UN	71
43	西藏谢通门 5.8 级	2018-12-24	UN	1998-07-20 西藏谢通门 6.1 级	97 km, NF	23
44	四川珙县 5.3 级	2019-01-03	RF-SS	2018-12-16 四川兴文 5.7 级	10 km, SS	1
45	西藏墨脱 6.3 级	2019-04-24	SS	2017-11-18 西藏米林 6.9 级	155 km, RF	89
46	四川长宁 6 级	2019-06-17	RF-SS	2018-12-16 四川兴文 5.7 级	12 km, SS	36
47	四川资中 5.2 级	2019-12-18	UN	1994-12-30 四川沐川 5.7 级	134 km, SS	20
48	四川成都青白江 5.1 级	2020-02-03	RF	2008-05-12 四川汶川 8.0 级	104 km, RF-SS	34
49	四川石渠 5.6 级	2020-04-01	SS	1979-03-29 青海玉树 6.2 级	167 km, SS	45
50	云南巧家 5.0 级	2020-05-18	SS	2014-08-03 云南鲁甸 6.5 级	20 km, SS-NF	4

以 2020 年 5 月 18 日云南巧家 5.0 级地震为例，其震中距离 2014 年云南鲁甸 6.5 级地震震中约 20 km。以距巧家地震震中最近的五莲峰断裂走向和包谷垭—小河断裂走向分别作为长轴方向得到的影响场如图 2a、b 所示。从图中可见，仅以距震中最近的活动断裂走向作为影响场方向时，判定结果的好坏强烈依赖于活动断裂的研究成果。以鲁甸地震震源机制解走向 342°（赵旭等，2014）

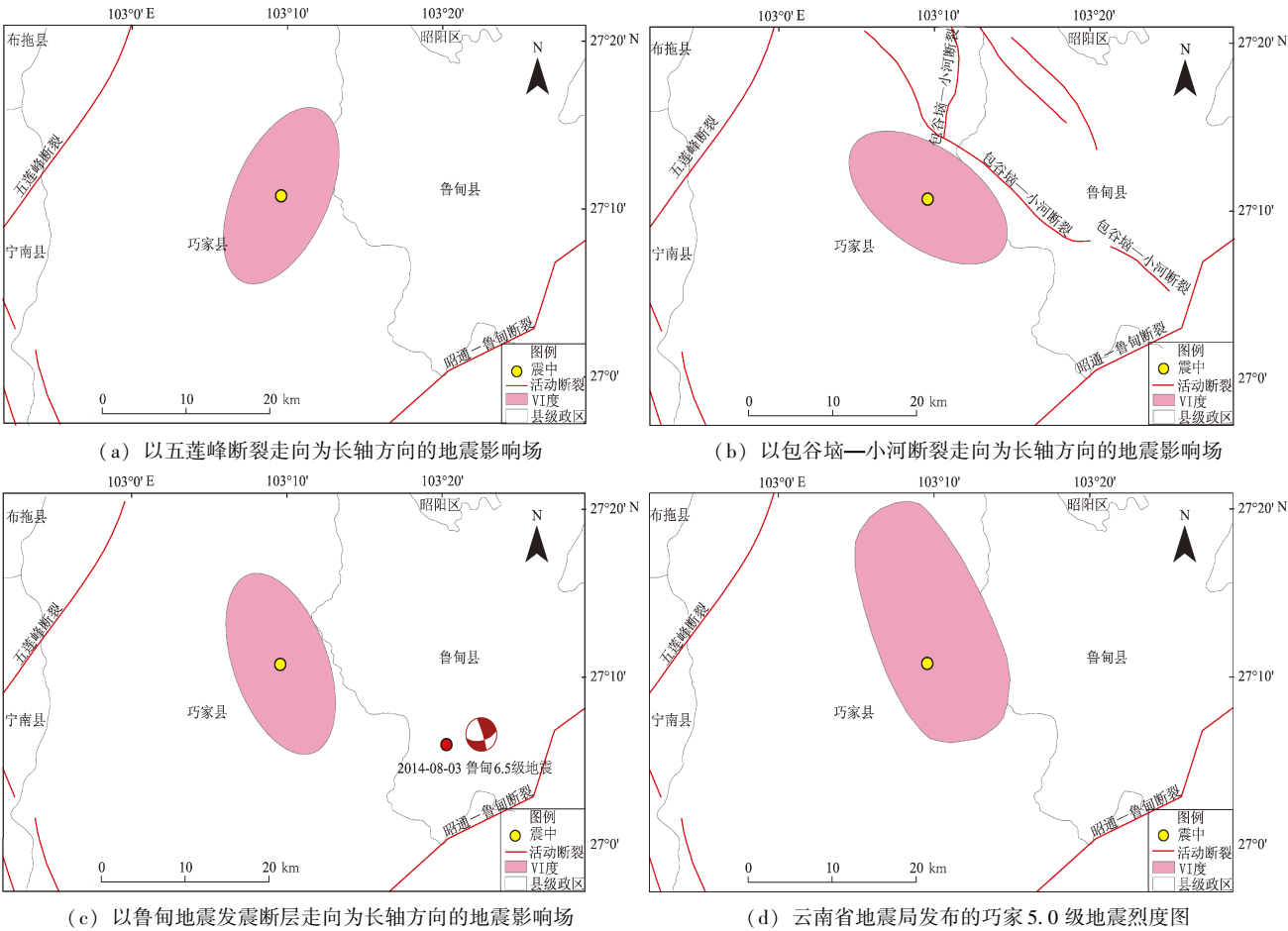


图 2 2020 年巧家 5.0 级地震影响场和实际烈度图

Fig. 2 The seismic influence fields and intensity map of the 2020 Qiaojia  $M_{\text{s}}5.0$  earthquake

为长轴方向绘制的影响场如图 2c 所示,影响场与实际等震线(图 2d<sup>①</sup>)长轴方向仅相差 4°,效果很好,甚至优于以本次地震震源机制解走向修正的结果(差值 15°)。因此,在震中附近发生过历史强震的情况下,绘制影响场时可以将历史强震震源机制解走向作为活动断裂法的补充条件,综合约束影响场长轴方向。

## 4 结论

本文对 1970—2020 年中国大陆 145 个破坏性地震的震源机制解走向与极震区长轴方向差值、2010—2020 年等震线长轴方向明显的 50 个强震震中附近区域历史强震震源机制解走向与极震区长轴方向差值进行了统计研究,主要得出以下结论:

(1) 走滑-近走滑型地震占研究地震总数的 56.6%,逆断型和正断型地震分别占研究地震总数的 19.3% 和 6.2%,其余为兼具走滑和正/逆断分量,或无法判别类型的地震。本文研究地震中地震分布最多的省份为新疆、云南、四川,除了走滑型断层之外,新疆以逆断型为主,云南多为正断型、少见逆断型,四川以逆断兼走滑居多。

(2) 145 个地震震源机制解走向和极震区长轴方向平均差值为 17.0°,其中走滑型、逆断型、正断型和其余类型地震震源机制解走向和极震区长轴方向平均差值分别为 16.4°、16.2°、20.6° 和 17.5°。在震后快速评估工作中,地震影响场和实际烈度图长轴方向差值小于 30° 视为可接受。所研究地震中,以震源机制解走向作为影响场长轴方向满足评估需求的占研究地震总数的 82.8%。

(3) 震源机制解 2 个节面走向差值与发震类型有关,走滑型地震震源机制解 2 个节面走向平均差值接近 90°,逆断型和正断型地震 2 个节面走向平均差值接近 180°。对于走滑型、兼具走滑和正/逆断型地震,结合构造背景、附近区域历史地震发震断层走向、余震分布等结果,判别 2 个节面中哪一个是发震断层面后,利用该节面走向可以修正地震影响场长轴方向。对于逆断型或正断型地震,由于 2 个节面近似在一条直线上,所以理论上可以任选其一修正影响场长轴方向。

(4) 2010—2020 年发生在中国大陆、等震线

长轴方向明显的 50 个地震中,有 31 个地震震中 100 km 范围内有历史强震,距震中最近历史强震的震源机制解走向与极震区长轴方向差值小于 30° 的有 18 个,占比 58%;其中 13 个地震震中 30 km 范围内有历史强震,差值小于 30° 的有 8 个,占比 62%。总体而言,以距震中最近历史强震震源机制解走向判定影响场方向的相符性低于以本次地震震源机制解走向作为影响场长轴方向(83%)的方法,但有部分地震结果优于使用本次地震震源机制解作为影响场长轴方向的结果。

目前,对于  $M_s \geq 4.5$  地震,中国地震台网中心在震后约 30 min 就可以产出震源机制解结果,为地震影响场的修正提供依据。在震后应急响应工作中,一般要求震后 15 min 内产出地震影响场。据此,本文提出一种在地震震源机制解产出之前,采用距震中最近的历史强震的震源机制解走向,并结合活动断裂分布情况综合判定影响场长轴方向的方法。因此,震后第一时段可采用以距震中最近历史地震震源机制解走向作为活动断裂法的补充条件,用来约束影响场长轴方向;第二时段可采用本次地震震源机制解走向来修正地震影响场长轴方向。未来,地震烈度速报将覆盖全国,仪器烈度分布图有可能替代传统烈度分布图,但在此之前,震后快速绘制地震影响场仍是地震应急的一项重要工作。烈度计提供的是分散的烈度分布点,依然需要借助其他研究成果(如震中附近活动断裂走向、本次地震和历史强震震源机制解走向等)来确定极震区的长轴方向。

## 参考文献:

- 白仙富,戴雨芾,李永强. 2011. 基于余震信息的宏观震中和影响场方向快速判定方法——以云南地区为例[J]. 地震研究, 34(4): 525-532.
- 陈浩,陈晓非. 2016. 2014 年 10 月 7 日云南景谷  $M_w 6.2$  地震震源机制解反演和重定位[J]. 地球物理学进展, 31(4): 1413-1418.
- 陈颢,俞言祥,高孟潭,等. 2012. 用有限强地震动记录校正等震线的估计研究[J]. 地震学报, 34(5): 633-645.
- 陈颢,俞言祥,高孟潭,等. 2015a. 2014 年 2 月 12 日新疆于田 7.3 级地震震动图[J]. 地震地质, 37(2): 524-528.
- 陈颢,俞言祥,高孟潭,等. 2015b. 2014 年云南鲁甸  $M_s 6.5$  地震峰值加速度震动图[J]. 地震学报, 37(3): 429-436.
- 程万正,陈天长. 1994. 1989 年巴塘 6.7 级震群的复杂时-空扩展和

<sup>①</sup> 云南防震减灾网. 2020. 云南巧家 5.0 级地震烈度分布图. [http://www.yndzj.gov.cn/yndzj/\\_300559/\\_300651/598913/index.html](http://www.yndzj.gov.cn/yndzj/_300559/_300651/598913/index.html).

- 震源力学机制[J]. 地震学报, 16(2): 153–159.
- 程万正, 李桂芳, 乔惠珍, 等. 2002. 四川沐川 5.7 级震群子序列的震源参数变化[J]. 中国地震, 18(2): 203–213.
- 董国胜. 1990. 云南鹤庆两次中强震特征比较[J]. 四川地震, (1): 19–22.
- 冯梅, 安美建, 吴中海, 等. 2019. 重庆地区地震震源机制解及动力环境分析[J]. 地球学报, 40(2): 319–328.
- 高国英, 温和平, 聂晓红. 2005. 1991—2002 年新疆中强震震源机制解分析[J]. 地震, 25(1): 81–87.
- 高孟潭, 许力生, 郭文生, 2005. 等. 2003 年 8 月 16 日内蒙古  $M_s$  5.9 地震震害分布特征及其成因分析[J]. 地震学报, 27(2): 205–212.
- 郭祥云, 陈学忠, 李艳娥. 2010. 2008 年 5 月 12 日四川汶川 8.0 级地震与部分余震的震源机制解[J]. 地震, 30(1): 50–60.
- 金铭, 李亚荣, 荣代潞. 2000. 肃南 5.7 级地震序列震源机制研究及其前兆意义[J]. 高原地震, 12(2): 25–31.
- 李国辉, 白玲, 丁林, 等. 2020. 2019 年西藏墨脱  $M_s$  6.3 地震震源参数及其构造意义[J]. 地球物理学报, 63(3): 1214–1223.
- 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[J]. 中国地震, 31(1): 110–120.
- 李旭, 陈运泰. 1996. 用长周期地震体波波波形资料反演 1990 年青海共和地震的震源过程[J]. 地震学报, 18(3): 279–286.
- 刘建明, 王琼, 刘杰, 等. 2016. 新源、和静交界  $M_L$  6.8 地震序列的应力降和震源机制研究[J]. 中国地震, 32(1): 28–39.
- 刘金龙, 林均岐. 2012. 基于震中烈度的地震人员伤亡评估方法研究[J]. 自然灾害学报, 21(5): 113–119.
- 吕苗苗, 丁志峰, 徐小明, 等. 2015. 2012 年彝良  $M_s$  5.7 和  $M_s$  5.6 地震序列重定位和震源机制解特征[J]. 地震学报, 37(6): 885–898.
- 马淑田, 赵薇. 1997. 1995 年 10 月 24 日云南武定  $M_s$  = 6.5 地震的震源机制解[J]. 地震学报, 19(3): 241–245.
- 潘睿, 姜金钟, 付虹, 等. 2019. 2017 年云南漾濞  $M_s$  5.1 及  $M_s$  4.8 地震震源机制解和震源深度测定[J]. 地震研究, 42(3): 338–349.
- 秦双龙, 张建国, 廖丽霞. 2012. 2009 年云南姚安 6.0 级地震震源机制与发震构造的分析研究[J]. 内陆地震, 26(1): 52–61.
- 苏廷秦. 2003. 新疆伽师强震群强震主破裂面走向初探[J]. 西北地震学报, 25(3): 269–274.
- 孙长虹, 许丰, 杨玉波, 等. 2012. 2003 年青海德令哈 6.7 级地震序列的震源机制解及其构造含义[J]. 地球物理学报, 55(10): 3338–3346.
- 孙业君, 赵小艳, 黄耘, 等. 2017. 云南地区震源机制及应力场特征[J]. 地震地质, 39(2): 390–407.
- 屠泓为, 万秀红, 高歌, 等. 2008. 1977 年至 2006 年新疆伽师地震断层性质及应力场变化原因初探[J]. 地球物理学进展, 23(4): 1038–1044.
- 汪进, 刘江峰, 田军. 1987. 1987 年元月 8 日甘肃迭部 5.9 级地震的震源机制解[J]. 西北地震学报, 9(2): 109–110.
- 汪素云, 俞言祥, 高阿甲, 等. 2000. 中国分区地震动衰减关系的确定[J]. 中国地震, 16(2): 99–106.
- 王光明, 刘自凤, 赵小艳, 等. 2018. 2018 年云南通海  $M_s$  5.0 地震序列重定位及发震构造讨论[J]. 地震研究, 41(4): 503–511.
- 王凯, 高莉萍, 姚振兴, 等. 1991. 澜沧—耿马地震的震源机制研究[J]. 地球物理学报, 34(5): 569–580.
- 王卫民, 李丽, 赵连锋, 等. 2005. 2003 年 2 月 24 日新疆伽师  $M_s$  6.5 级地震震源破裂过程研究[J]. 地球物理学报, 48(2): 343–351.
- 王伟傑, 李晓丽, 李志强. 2011. 利用余震法快速判定宏观震中的研究[J]. 震灾防御技术, 6(1): 36–48.
- 王焱, 刁桂苓, 张四昌, 等. 2002. 1999 年山西大同  $M_s$  5.6 地震的震源断层[J]. 中国地震, 18(1): 96–101.
- 魏柏林. 1985. 炉霍、松潘和龙陵地区地震发震构造型式的探讨[J]. 地震研究, 8(2): 201–212.
- 温增平. 1991. 1990 年 10 月 20 日天祝、古浪 6.2 级地震的震源机制解[J]. 西北地震学报, 13(1): 94.
- 谢富仁, 崔效锋, 赵建涛. 2003. 全球应力场与构造分析[J]. 地学前缘, 10(8): 22–30.
- 徐甫坤, 刘自凤, 孙楠, 等. 2015. 2015 年云南沧源  $M_s$  5.5 地震序列分布与演化特征[J]. 地震研究, 38(3): 333–340.
- 徐志国, 梁姗姗, 邹立晔, 等. 2019. 2016 年 12 月 8 日新疆呼图壁  $M_s$  6.2 主震震源机制及余震序列定位[J]. 地震地质, 41(1): 44–57.
- 徐志双, 刘杰, 郑通彦, 等. 2020. 基于精定位余震序列的 2019 年四川长宁  $M_s$  6.0 地震等震线研究[J]. 地震学报, 42(4): 418–427.
- 杨成荣, 单新建, 何玉梅, 等. 2002. 伽师强震群震源机制与区域应力场特征[J]. 地震, 22(3): 89–94.
- 杨锐, 张凤秋, 王想, 等. 2011. 2006 年文安及 1967、1973 年河间地震与邢台地震群子序列的对比[J]. 内陆地震, 25(4): 366–372.
- 杨天青, 姜立新, 董曼, 等. 2015. 基于余震序列分布信息的地震极灾区快速判断方法研究[J]. 灾害学, 30(1): 8–15.
- 杨欣, 聂晓红, 夏爱国. 2005. 2003 年 12 月 1 日新疆昭苏 6.1 级地震序列特征分析[J]. 中国地震, 21(2): 244–253.
- 姚海东, 尹欣欣, 沈平, 等. 2018. 广西苍梧  $M_s$  5.4 级地震震源机制解与震源深度[J]. 四川地震, (2): 43–47.
- 易桂喜, 龙锋, 梁明剑, 等. 2019. 2019 年 6 月 17 日四川长宁  $M_s$  6.0 地震序列震源机制解与发震构造分析[J]. 地球物理学报, 62(9): 3432–3447.
- 曾祥方, 韩立波, 倪四道, 等. 2013. 2012 年 6 月 24 日宁蒗—盐源  $M_s$  5.7 地震震源参数研究[J]. 地震, 33(4): 196–206.
- 张苏平, 陈文凯, 周中红, 等. 2015. 中国西部地区大地震 ( $M_s \geq 7$ ) 烈度衰减关系改进[J]. 自然灾害学报, 24(1): 104–113.
- 张之立, 刘新美. 1982. 1970 年 1 月 5 日云南通海地震的震源特征[J]. 地球物理学报, 25(5): 440–447.
- 赵翠萍. 2006. 1997–2003 年新疆伽师震源区特征的地震学方法研究[D]. 北京: 中国地震局地球物理研究所.
- 赵小艳, 付虹. 2014. 2013 年洱源  $M_s$  5.5 和  $M_s$  5.0 地震发震构造识别[J]. 地震学报, 36(4): 640–650.
- 赵旭, 刘杰, 冯蔚. 2014. 2014 年云南鲁甸  $M_s$  6.5 地震震源运动学特征[J]. 地震地质, 36(4): 1157–1172.
- 郑文俊, 刘小凤, 赵广堃, 等. 2005. 2003 年 11 月 13 日甘肃岷县  $M_s$  5.2 地震基本特征[J]. 西北地震学报, 27(1): 61–65.
- 郑韵, 姜立新, 杨天青, 等. 2016. 基于震源机制解的分区地震烈度衰减关系研究[J]. 震灾防御技术, 11(2): 349–359.
- 朱艾斓, 刁桂苓, 张四昌, 等. 1999. 1989 年和 1991 年大同—阳高两次地震震源断层的三维特征[J]. 山西地震, (3–4): 15–20.
- 朱琳, 李腾飞, 石富强, 等. 2021. 1976 年唐山强震震后库仑应力演化

- 及其与2020年古冶5.1级地震的关系[J]. 地震研究, 44(1): 1-8.
- Dziewonski A M, Chou T A, Woodhouse J H. 1981. Determination of earthquake source parameters from waveform data for studies of global and regional seismicity [J]. J Geophys Res, 86 ( B4 ): 2825-2852.
- Ekström G, Nettles M, Dziewonski A M. 2012. The global CMT project 2004-2010: Centroid-moment tensors for 13,017 earthquakes [J]. Phys Earth Planet Inter, 200-201: 1-9.

## Determination of the Long-axis Direction of the Seismic Influence Field Using the Strike of the Focal Mechanism Solution

XU Zhishuang, REN Jing, TAN Zhuantiao, GAO Xiaoyue, CHEN Yahui, YANG Zhigao, LI Zhiqiang  
(China Earthquake Networks Center, Beijing 100045, China)

### Abstract

In order to evaluate the practicability of using the strike of the focal mechanism solution as the long-axis direction of the seismic influence field, 145 destructive earthquake cases from 1970 to 2020 were taken as the research samples. The deviation between the strikes of the focal mechanism solutions and the long-axis directions of the meizoseismal areas has been studied. It is found that the average difference between the strikes of the focal mechanism solutions and the long-axis directions of the meizoseismal areas is  $17.0^{\circ}$ . Of all the earthquake cases, the strike-slip/near strike-slip, reverse, and normal faults account for 56.6%, 19.3% and 6.2%, respectively. And average differences between strikes of the focal mechanism solutions of these earthquakes and the long-axis directions of the meizoseismal areas are about  $16.4^{\circ}$ ,  $16.2^{\circ}$  and  $20.6^{\circ}$ . In general, the earthquake cases whose difference between the strikes of the focal mechanism solutions and the long-axis directions of the meizoseismal areas less than  $30^{\circ}$  takes a percentage of 82.8%, indicating that the method is feasible. And then, the differences between the strikes of the focal mechanism solutions of the historical strong earthquakes occurring near the epicenter of the earthquake samples and the long-axis directions of the meizoseismal areas of 50 strong earthquakes with obvious isoseismal long-axis direction from 2010 to 2020 were statistically studied. The results show that among the 50 earthquakes, there have been historical earthquakes within 30 km of the epicenters of 13 earthquakes and the difference between the strike of the focal mechanism solutions and the long-axis direction of the meizoseismal area of 8 cases (62%) is within  $30^{\circ}$ . Therefore, if a historical strong earthquake has ever occurred within 30 km from the epicenter of the current earthquake, the direction of the focal mechanism solution of the historical strong earthquake and the strike of the active fault nearby can be comprehensively considered to determine the direction of the long-axis direction of the seismic influence field.

**Keywords:** seismic influence field; long-axis direction; focal mechanism; isoseismal map; meizoseismal area