

康英、杨选、沈玉松, 2015, 传统地震目录中增加矩震级及震源机制解的必要性分析, 中国地震, 31(1), 121 ~ 132。

# 传统地震目录中增加矩震级及震源机制解的必要性分析

康英 杨选 沈玉松

广东省地震局, 广州市先烈中路 81 号 510070

**摘要** 本文梳理了我国地震目录的产出现状, 对于我国近几年应急机构和区域台网产出的震源机制解、矩震级进行了比较研究。结果表明: 中国地震局地球物理研究所和地震预测研究所对于国内陆地地区 6 级以上地震的地震矩张量解的产出率为 100%, 5 级以上地震的地震矩张量解产出率为 81%。这两个研究所给出的 3 种矩张量结果和 GCMT 给出的矩张量结果较为一致, 类型统计一致率分别达到 71%、86% 和 66%, 其中 P、T 轴空间夹角优势分布在 15° 左右。产出的矩震级和 GCMT 解得到的矩震级相差不大, 偏差在 0.1 以内的比率分别为 46%、86% 和 71%, 偏差在 0.3 以内的比率分别为 85%、100% 和 97%。结果表明对于我国内陆地区的 5 级以上地震, 这两个研究所产出率较高、结果较为一致。而由各台网据震源参数得出的 5 级左右地震的矩震级和 GCMT 求解的矩震级比较起来明显偏小。由此探讨了在传统地震目录中增加震源机制解及矩震级的必要性。

**关键词:** 矩震级 震源机制解 地震目录

[文章编号] 1001-4683(2015)01-0121-12 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

## 0 引言

地震目录和地震观测报告是地震台网产出的最终成果, 也是科学研究的基础资料。随着“十五”网络项目中 1 个国家地震台网和 32 个区域地震台网的建立, 我国已拥有上千个宽带地震台; 各个区域台网共享周边台网的数据, 使网缘地震变为网内地震; 台站密度的增加和数据共享的实现全面提高了地震监测能力和定位精度。同时, 地震编目的模式也发生了重大变化, 区域台网由以前的周报和月报改为快报(每日报)和正式报(每周报), 编报范围和编报格式及内容都做了较大调整; 地震目录也发生了重大变化, 由之前的国家台网产出的大震目录、区域台网产出的微震目录合并为中国地震台网中心地震目录。

2008 年汶川地震后, 中国地震局地球物理研究所和地震预测研究所承担了大震的震源机制解及震源破裂过程的产出任务, 要求对 5 级以上的地震作出快速反应, 并将相关结果作为大震产出产品及时为应急服务, 这也促成了研究方法的常规化和实用化。同时, 用震源谱求解中小地震震源参数的工作也已在十多个省地震局相继展开。这些工作的开展使得震源

[收稿日期] 2014-05-13; [修定日期] 2014-07-12

[项目类别] 地震行业科研专项(201308008)资助

[作者简介] 康英, 女, 1967 年生, 正研级高级工程师, 主要从事地震台网数据分析与研究。E-mail: ky@gdssn.org.cn

机制解、矩震级加入传统目录成为可能。快速准确测定地震的震源机制解对进一步判断震源破裂过程非常重要。在自动定位技术越来越成熟的今天,地震矩张量解正逐渐成为地震台网拓展功能的主要方向之一。发展自动或半自动化的地震矩张量解反演方法,提供较可靠的分析结果,是有效利用地震台网记录、拓展信息服务功能、提高台网监测效能的重要途径。

在考虑进一步规范地震目录产出的同时,如何丰富地震目录的内容也是个值得考虑的问题。随着对地震震源研究的深入,现代地震学参数赋予了比传统的地震三要素更丰富的内涵(吴忠良等,1994;陈运泰等,1999;王椿镛等,2004)。目前国际上出版的主要地震目录为 USGS 的 PDE 目录和 ISC 的目录,这两种目录除了给出地震事件的发震时刻、各种类型的震级、地震位置、震相到时信息外,还给出较大地震的震源机制解,在震级信息中也包括  $M_w$  震级。哈佛大学(现在由哥伦比亚大学的拉蒙特观象台)和美国地震信息中心还专门给出大地震的矩张量计算结果(Dziewonski et al,1981、1983;Sipkin,1982;Ekström et al,2012),并通过网站、电子邮件发布。许多研究机构和地震台网,如日本东京大学地震研究所、南加州地震台网中心、欧洲-地中海台网中心等机构,都实现了地震矩张量解测定工作的快速化和常规化。同时,多位研究者在近实时确定可靠矩张量解的反演方面做了许多努力(Kawakatsu,1995、1998;Gee et al,1996;Pasyanos et al,1996;Fukuyama et al,1998、2000;Kawakatsu,1998;Kubo et al,2002;Bernardi et al,2004;Clinton et al,2006;Scognamiglio et al,2009)。2002年,美国地质调查局发布对地震震级的新规定,首选  $M_w$  震级作为发布震级(刘瑞丰,2003)。相比国外的地震目录中国还停留在产出三要素的阶段,震级也不包含矩震级。本文就中国地震局地球物理研究所、地震预测研究所和各区域台网产出的结果与全球矩张量 GCMT 结果做了比较分析,初步探讨将矩震级和震源机制解纳入传统目录的必要性。

## 1 震源机制解与矩震级测定工作现状

### 1.1 国内 5 级以上的矩张量和矩震级

随着大震应急机制的启动,当国内发生 5 级以上地震时,中国地震局地球物理研究所和地震预测研究所应急部门会快速反应,给出震源机制解、大震破裂过程等应急工作急需的数据,并将结果上报到中国地震台网中心和应急部门,同时通过邮件、网页发布(<http://ddsep.cea-igp.ac.cn>,<http://news.ceic.ac.cn/zhuanti.html>)。地球物理研究所主要利用两种方法,一是利用全球台网资料使用同步源反演矩张量的方法(刘超等,2008、2010、2011),给出中国大陆 5.5 级以上、中国其他地区 6 级以上、国外 7 级以上地震的地震矩张量解和破裂过程;二是利用区域台网资料使用 CAP 的矩张量反演方法(Zhao et al,1994;Zhu et al,1996),给出中国大陆 5 级以上、中国其他地区 5.5 级以上、国外 7 级以上地震的矩张量解;这两项任务要在获取波形数据后 2 小时内完成。中国地震局地震预测研究所利用区域台网资料用 TDMT-INVC 的矩张量反演方法(Dreger et al,1993、2000)给出国内 5 级以上的主震和应急地震序列中强余震的震源机制解;主震的矩张量解在获取波形数据后 2 小时内完成、国内 6.5 级以上地震发生后 24 小时内给出 5.0 级以上地震震源机制解,3 天后给出 4.5 级以上地震震源机制解。

同步源、CAP、TDMT-INV 以及 GCMT 这 4 种方法都是采用计算理论地震波形图,与台站实际记录到的波形进行拟合对比,来反演出地震矩张量解。其间的主要差别在于反演时使用的波形数据段的差异及反演结果的部分不同。如同步源反演矩张量用的是地震事件波形中的长周期体波段,反演结果除了得到地震矩张量解外,还能得到震源时间函数;CAP 方法把地震事件波形记录进行分割和加权,可同时利用波形的体波和面波来反演地震矩张量解;TDMT-INV 方法是通过拟合时间域的波形反演得到地震矩张量解;而 GCMT 方法(Dziewonski et al,1981;Ekström et al,2012)是用地震事件的长周期面波和地球自由振荡波形来反演得到地震的矩心矩张量以及矩心的位置。由于前 3 种反演方法直接采用的是地震定位位置(即破裂的初始位置),没有反演矩心的位置,因此相对 GCMT 方法,在大震的反演中,可能会由于矩心位置的偏差影响矩张量反演结果的准确性。

本文收集了 2008 年 11 月~2013 年 8 月间中国地震局地球物理研究所用 CAP 方法、同步源方法和地震预测研究所用 TDMT-INV 方法反演的矩张量结果。结果中给出了地震事件地震矩张量解的 6 个分量、标量地震矩、矩震级、节面的走向、倾角、滑动角、P、T、N 轴的倾角和方位及用波形拟合得到的震源深度等参数。其中,CAP 方法在给出 83 个地震的地震矩张量解的同时还给出了其中 82 个事件对应的矩震级;同步源方法给出 7 个地震的地震矩张量解及相应地震的矩震级;TDMT-INV 方法给出了 77 个地震的地震矩张量解及其中 65 个

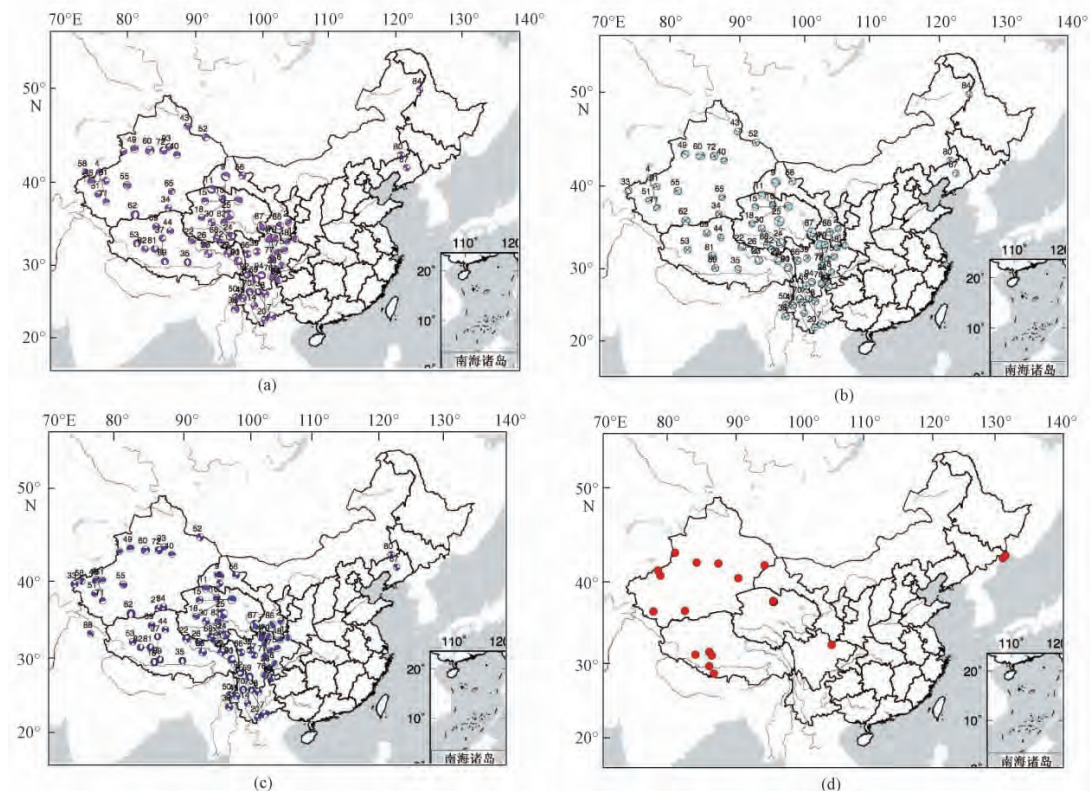


图 1 (a)、(b)、(c) 分别为中国地震局地球物理研究所、地震预测研究所和 GCMT 给出震源机制解的地震分布图(d)未给出震源机制解的地震分布图

事件的矩震级。同时我们收集了美国哥伦比亚大学 Global CMT 工作组给出的全球矩心矩张量 GCMT 的结果以进行对比分析。图 1(a)、(b)、(c) 给出了这些事件的震源机制解分布图,可以看出台站比较稀疏的地区也可以用矩张量反演方法给出震源机制解。2008 年 11 月~2013 年 8 月间的中国地震台网速报目录中有中国 5 级以上地震 105 条,其中 2 家单位都没有结果的地震有 20 个(其中 GCMT 给出 7 个结果),震级范围在 5.0~5.6,除了一个地震发生在四川外,其他 19 个地震主要发生在青海(3 个)、新疆(9 个)、西藏(5 个)、吉林(2 个)(图 1(d));对比速报目录可以看出,6 级以上地震的震源机制解产出率为 100%,5 级以上产出率为 81%。

我们将 CAP 方法、同步源方法、TDMT-INVC 方法及 GCMT 方法 4 种反演结果给出的震源机制解按 Zoback (1992) 给出震源机制解的分类标准进行分类,将其分为正断型(NF)、正走滑型(NS)、走滑型(SS)、逆走滑型(TS)、逆断型(TF)、未确定型(UD) 6 种。表 1 列出了 4 种结果中的矩震级及震源机制类型。从震源机制类型的一致性来看,CAP 和 GCMT 的结果可以对比的有 79 个地震事件,其中 56 个事件的类型一致,占总数的 71%;同步源和 GCMT 的结果可以对比的有 7 个地震事件,其中 6 个事件的类型一致,占总数的 86%;TDMT-INVC 和 GCMT 的结果可以对比的有 73 个地震事件,其中 48 个事件的类型一致,占总数的 66%。总体来看,84 个地震事件中有 46 个事件的 4 种结果完全一致;17 个事件用这 4 种方法处理的结果比较靠近(如 NS, SS/TS, SS 等);3 种或 2 种结果完全不一致的有 5 个(19、23、36、37、74 号地震,震级为 5.2~5.7);1 种结果和其他 3 种完全不一致的有 16 个(9、10、11、20、25、27、29、43、44、47、52、55、56、71、79、83 号事件,含 3 个 6 级以上事件)。

为了衡量几种方法产出震源机制解的一致程度,我们根据给出的 P、T 轴的方位角和倾角,计算了 3 种结果与 GCMT 的结果 P 轴和 T 轴空间取向的夹角(万永革等,2001;徐志国等,2007),采用公式为(1)式和(2)式,在地理坐标系中的 2 个 P 轴的单位矢量可以表示为

$$e^0 = [\cos\delta_{p1} \cos\varphi_{p1}, \cos\delta_{p1} \sin\varphi_{p1}, \sin\delta_{p1}] \quad (1)$$

$$e^1 = [\cos\delta_{p2} \cos\varphi_{p2}, \cos\delta_{p2} \sin\varphi_{p2}, \sin\delta_{p2}] \quad (2)$$

其中,  $\varphi_{p1}$ ,  $\delta_{p1}$ ,  $\varphi_{p2}$ ,  $\delta_{p2}$  分别为结果 1 和结果 2 的 P 轴方位角和倾角。根据(3)式我们可以求出前 2 个结果的 P 轴的空间夹角

$$\theta = \arccos(e^0, e^1) \quad (3)$$

同样根据 T 轴方位角和倾角可以求出不同测量结果的 T 轴之间的夹角。本文分别求出了 CAP、同步源、TDMT-INVC 这 3 种方法所得结果与 GCMT 结果的空间夹角,如图 2 所示,可以看出结果 1、结果 3 在 P、T 轴空间夹角分布较分散,3 个结果的优势分布在 15°附近。

3 种方法给出的矩震级  $M_{w1}$ 、 $M_{w2}$ 、 $M_{w3}$  与 GCMT 矩震级  $M_{wGCMT}$  的关系及偏差分布见图 3,通过对比 78 个地震的  $M_{w1}$  和  $M_{wGCMT}$  发现,46% 的地震矩震级偏差在 0~0.1,38% 的地震矩震级偏差在 0.2~0.3,13% 的地震矩震级偏差在 0.4~0.5,有 2 个地震震级偏差大于 1,分别为 2010 年 11 月 6 日新疆 5.0 级和 2011 年 11 月 28 日缅甸 5.2 级地震;对比 7 个地震的  $M_{w2}$  与  $M_{wGCMT}$  发现,86% 的地震矩震级偏差在 0~0.1,14% 的地震矩震级偏差在 0.2~0.3。对比 61 个地震的  $M_{w3}$  与  $M_{wGCMT}$  发现,71% 的地震矩震级偏差在 0~0.1,26% 的地震矩震级偏差在 0.2~0.3,3% 的地震矩震级偏差在 0.4~0.5。

表 1 中国地震局地球物理研究所和地震预测研究所测定的震源机制解类型、矩震级与 GCMT 结果的对比(1 为地球物理研究所 CAP 结果,2 为地球物理研究所同步源结果,3 为地震预测研究所 TDMT-INVC 结果)

序号	发震日期	发震时间	北纬 $l(^{\circ})$	东经 $l(^{\circ})$	深度 /km	$M_s$	$M_w$				震源机制解类型			
							$M_{w1}$	$M_{w2}$	$M_{w3}$	$M_{wGCMT}$	1	2	3	GCMT
1	2008-11-10	09:21	37.66	95.91	16	6.6	6.2	6.6	6.2	6.3	TF	TF	TF	TF
2	2008-12-10	02:53	32.52	105.48	10	5.1	4.7		5.2	5.1	TF		TF	TF
3	2009-01-25	09:47	43.30	80.80	7	5.0	4.8			5.1	TF			TF
4	2009-4-22	17:26	40.10	77.25	25	5.0	5.4		4.8	5.0	TF		TF	TF
5	2009-06-30	02:03	31.46	103.96	24	5.5	5.2		5.3	5.3	TF		TF	TF
6	2009-06-30	15:22	31.46	103.98	24	5.0	4.7		5.0	4.9	TF		TF	TF
7	2009-07-09	19:19	25.60	101.03	6	6.3	5.7	5.6	5.7	5.7	SS	SS	SS	SS
8	2009-07-10	17:02	25.60	101.05	10	5.4	5.3		5.3	5.2	SS		SS	SS
9	2009-08-28	09:52	37.60	95.90	10	6.6	6.9			6.3	NF		TF	TF
10	2009-08-31	01:15	37.85	95.65	10	5.3	5.7		5.0	5.4	SS		TF	TF
11	2009-08-31	18:15	37.74	95.98	7	6.1	6.1		5.9	5.8	NF		TF	TF
12	2009-09-19	16:54	32.90	105.56	8	5.2	4.9		5.0	4.9	TF		TF	TF
13	2009-11-02	05:07	25.94	100.69	10	5.0	4.9		5.0	4.9	SS		SS	SS
14	2009-11-05	05:56	37.59	95.77	5	5.3	5.4			5.1	TF		TF	TS
15	2009-11-28	00:04	31.23	103.80	15	5.0	4.7			4.9	TF		TF	TF
16	2009-12-21	13:15	37.57	96.65	6	5.0	5.3			5.0	TF		TF	TF
17	2010-01-31	05:36	30.28	105.71	5	4.8	4.7		4.3		TF		TF	
18	2010-02-25	12:56	25.42	101.94	20	5.2	5.1			5.2	SS		SS	SS
19	2010-03-24	10:44	32.71	92.75	10	5.7	5.3			5.4	TF		NF	SS
20	2010-03-24	10:06	32.36	93.05	7	6.1	5.6			5.7	SS		NF	SS
21	2010-04-14	07:49	33.22	96.59	14	7.3	7.3	7.0		6.9	SS	SS	SS	SS
22	2010-04-14	09:25	33.22	96.57	17	6.4	6.6	6.3		6.1	SS	SS	SS	SS
23	2010-04-17	08:58	32.31	92.92	23	5.3	5.3			5.3	TF		NF	SS
24	2010-05-25	14:11	31.17	103.49	20	5.0	4.8			5.0	TF		TF	TF
25	2010-05-29	10:29	33.26	96.21	10	5.9	6.3	5.8	5.7	5.8	SS	SS	NF	SS
26	2010-06-03	13:35	33.31	96.22	11	5.4	6.0			5.5	SS		NS	SS
27	2010-06-10	14:38	39.89	74.70	9	4.9	5.3			5.2	NF		SS	SS
28	2010-11-06	10:12	36.76	87.53	7	5.0	3.9		5.1	5.2	SS		SS	SS
29	2010-11-30	16:39	29.89	90.42	9	5.3	5.0		5.2	5.3	NF		TF	NF
30	2010-12-30	02:30	30.94	86.63	26	5.0	4.8			5.1	NS			NF
31	2011-01-01	09:56	39.49	75.21	9	4.9	4.7		4.6	4.9	SS		SS	SS
32	2011-03-10	12:58	24.65	97.95	10	5.9	5.4		5.4	5.5	TS		SS	SS
33	2011-04-10	17:02	31.28	100.8	10	5.4	5.1		5.4	5.4	SS		SS	SS
34	2011-06-8	09:53	42.95	88.30	10	5.1	4.9		5.0	5.1	TF		TF	TF
35	2011-06-20	18:16	25.05	98.69	10	5.3	5.0		5.0	5.0	SS		SS	TF
36	2011-06-26	15:48	32.40	96.05	20	5.3	5.1		5.2	5.3	SS		UD	NS
37	2011-07-25	03:05	46.01	90.36	8	5.2	4.4			5.2	TF		SS	
38	2011-08-02	03:40	33.9	87.80	10	5.2	5.1		5.1	5.3	SS		SS	SS
39	2011-08-09	19:50	25.00	98.70	11	5.2	5.0		5.0	5.1	SS		SS	SS
40	2011-08-11	18:06	39.90	77.20	10	5.8	5.3		5.8	5.6	TF			TF
41	2011-10-16	21:44	44.25	82.70	18	4.8	4.7		4.8	4.8	TS		TF	TF
42	2011-11-01	05:58	32.60	105.30	6	5.2	5.0		5.2	5.0	TF		TF	TF
43	2011-11-01	08:21	43.60	82.45	28	5.8	5.4		5.6	5.5	TF		UD	TF
44	2011-11-28	23:06	25.15	97.60	10	5.2	4.0		5.2	5.2	UD		SS	SS

续表 1

序号	发震日期	发震时间	北纬 / (°)	东经 (°)	深度 /km	$M_s$	$M_w$				震源机制解类型			
							$M_{w1}$	$M_{w2}$	$M_{w3}$	$M_{wGCMT}$	1	2	3	GCMT
45	2011-12-01	20:48	38.40	77.00	30	5.0	4.7		4.8	4.9	TF		TS	TF
46	2012-02-10	02:57	44.85	93.10	7	5.3	5.0		4.9	5.0	SS		SS	SS
47	2012-02-17	23:44	32.35	82.80	30	5.3	5.5		5.3	5.4	NF		SS	SS
48	2012-03-9	06:50	39.45	81.35	30	5.9	5.4		5.6	5.9	TF		SS	TF
49	2012-05-03	18:19	40.58	98.62	12	5.4	5.1		5.0	5.2	SS		SS	SS
50	2012-05-28	10:22	39.71	118.47	22	4.7	4.5		4.7	4.7	SS		SS	SS
51	2012-06-01	20:32	39.86	75.05	7	5.0	5.0			5.1	TF			TS
52	2012-06-24	15:59	27.71	100.69	11	5.7	5.5		5.6	5.6	NF		SS	NF
53	2012-06-30	05:07	43.42	84.74	7	6.6	6.2		6.3	6.3	SS		TS	SS
54	2012-08-11	17:34	39.99	78.18	16	5.2	5.1		5.2	5.3	NS		SS	TF
55	2012-08-12	18:47	35.94	82.56	28	6.3	6.0		6.2	6.2	NF		SS	NF
56	2012-09-07	12:16	27.56	104.03	14	5.6	5.0		5.3	5.3	TF		SS	SS
57	2012-09-07	11:19	27.51	103.97	14	5.7	5.3		5.6	5.6	TS		SS	TS
58	2012-12-07	22:08	38.73	88.01	10	5.0	4.6		4.7				TS	TF
59	2013-01-18	20:42	30.95	99.40	15	5.5	5.4		5.5	5.6	SS		SS	SS
60	2013-01-23	12:18	41.50	123.20	10	5.1	4.8		4.8	4.9	SS		SS	SS
61	2013-01-30	17:27	32.95	94.75	20	5.2	5.2		5.1	5.2	SS		SS	SS
62	2013-02-25	13:11	34.45	85.70	10	5.5	5.2		5.4	5.6	SS		SS	SS
63	2013-03-03	13:41	25.93	99.72	9	5.5	5.3		5.4	5.4	NF		NF	NF
64	2013-03-11	11:01	40.18	77.48	10	5.1	5.0		4.7	5.2	TF		TF	TF
65	2013-03-29	13:01	43.40	86.80	10	5.6	5.3		5.2	5.4	UD		SS	SS
66	2013-04-17	09:45	25.90	99.75	10	5.1	5.0		5.0	5.3	NF		NS	NF
67	2013-04-20	08:02	30.30	102.99	17	7.0	6.6	6.7	6.5	6.6	TF	TF	TF	TF
68	2013-04-20	11:34	30.24	102.94	15	5.4			5.2	5.4	TF		TF	TF
69	2013-04-21	04:53	30.36	103.05	27	5.0	4.7		4.9	4.8	TF		TF	TF
70	2013-04-21	11:59	30.26	103.00	17	4.9			4.7	5.0			TF	TF
71	2013-04-21	17:05	30.34	103.00	17	5.4	5.0		4.9	5.2	TF		SS	TF
72	2013-04-22	17:11	42.90	122.35	6	5.3	5.0		5.0	5.0	SS		SS	SS
73	2013-05-15	18:54	31.61	86.52	10	5.3	5.0		5.0	5.2	NS		SS	NS
74	2013-05-16	11:34	31.61	86.47	10	5.2	4.9			5.1	SS			NF
75	2013-06-05	08:43	37.59	95.87	10	5.2	5.0			5.1	TF			TF
76	2013-06-20	17:05	49.75	125.20	10	5.0	4.4		4.5		SS		SS	
77	2013-07-22	09:12	34.56	104.21	14	5.6	5.4		5.3	5.4	TS		SS	TF
78	2013-07-22	07:45	34.54	104.21	15	6.7	6.1	6.2	6.0	6.0	TF	SS	SS	TS
79	2013-08-06	23:31	31.40	86.60	10	5.3	5.0		5.1	5.3	NF		SS	NF
80	2013-08-12	07:58	30.06	97.91	15	5.1	4.9		5.0	5.1	NS		NF	NF
81	2013-08-12	05:23	30.04	97.96	15	6.1	5.8		5.8	5.8	SS		NF	NS
82	2013-08-28	04:44	28.20	99.33	9	5.1	5.1			5.2	NF			NF
83	2013-08-30	13:27	43.80	87.60	10	5.1	4.8		5.0	5.3	UD		TF	UD
84	2013-08-31	08:04	28.15	99.35	10	5.9	5.6		5.6	5.7	NF		NF	NF

## 1.2 中小地震的矩震级

“九五”期间,随着数字地震台网的建立,在一些区域地震台网开始用震源谱求解中小地震的震源参数,获得了一批中小地震震源参数,并由相应的地震矩求出矩震级。使用的方法主要是各台网在反演得到各区  $Q$  值和场地响应后 (Atkinson et al, 1992; Moya et al,

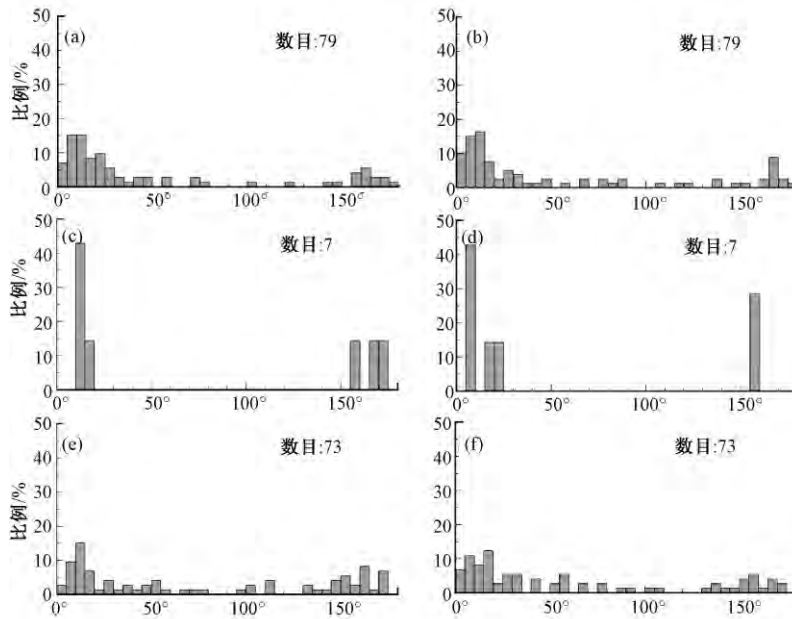


图 2 P、T 轴空间夹角分布

(a)、(c)、(e) 分别为结果 1、2、结果 3 与 CGMT 结果 P 轴空间夹角的分布;

(b)、(d)、(f) 分别为结果 1、2、3 与 CGMT 结果 T 轴空间夹角的分布

2000), 从观测谱中消除了仪器、噪声、几何扩散、传播路径的介质衰减、台站场地效应等影响, 采用平方震源模型拟合震源谱后, 利用 Brune 的圆盘模型计算其震源参数, 并推出相应的矩震级。该方法通过地震预测研究所“地震图像与地震观测资料应用研究实验室”的推广, 2008 年, 北京、河北、云南、四川、新疆、山东、甘肃、广东、福建等 10 个区域数字地震台网, 开始编制新参数地震目录。我们收集了各单位 2004 ~ 2012 年产出的较大地震的震源参数, 其中一些数据来自杨晶琼等 (2013) 的文章。表 2 给出了 24 个震级在  $M_L$  4.8 ~ 6.3 的地震事件, 其矩震级可以和 GCMT 给出的矩震级进行对比分析。

各区域地震台网产出的矩震级  $M_{W4}$  与  $M_{WGCMT}$  的关系及偏差分布见图 4, 由震源谱得到的矩震级  $M_{W4}$  明显偏小,  $M_{W4}$  与  $M_{WGCMT}$  的偏差为 0.4 ~ 1.2, 24 个地震中有 6 个地震的矩震级偏差超过 1 级, 其中 75% 的地震矩震级偏差为 0.4 ~ 0.9。赵翠萍等 (2011) 利用区域台网求解的 2537 次地震事件的震源参数结果, 产出的  $M_W$  为 2.0 ~ 5.0, 结果发现各台网测定  $M_L$  震级与据震源参数得到的  $M_W$  两者都在 3.5 级以下时比较一致, 在 3.5 级以上时, 则存在偏差, 且  $M_L$  越大,  $M_L$  与  $M_W$  的偏差越大, 最大差 0.8。杨晶琼等 (2013) 求解了 675 个  $M_L$  在 3.0 ~ 6.3 地震的震源波谱参数, 也可以看出  $M_L$  越大,  $M_L$  与  $M_W$  的偏差越大。结合本文的结果, 可以看出用震源谱方法求解的 5 级左右的  $M_W$  偏小。目前台网在资料处理时所使用的频带为 1 ~ 20Hz, 对于震级较大的地震, 可能要考虑其低频部分; 对于震级较大的地震, Brune 圆盘模型是否合适、场地影响的扣除是否合理; 这些因素对震源波谱参数的影响有待进一步研究。

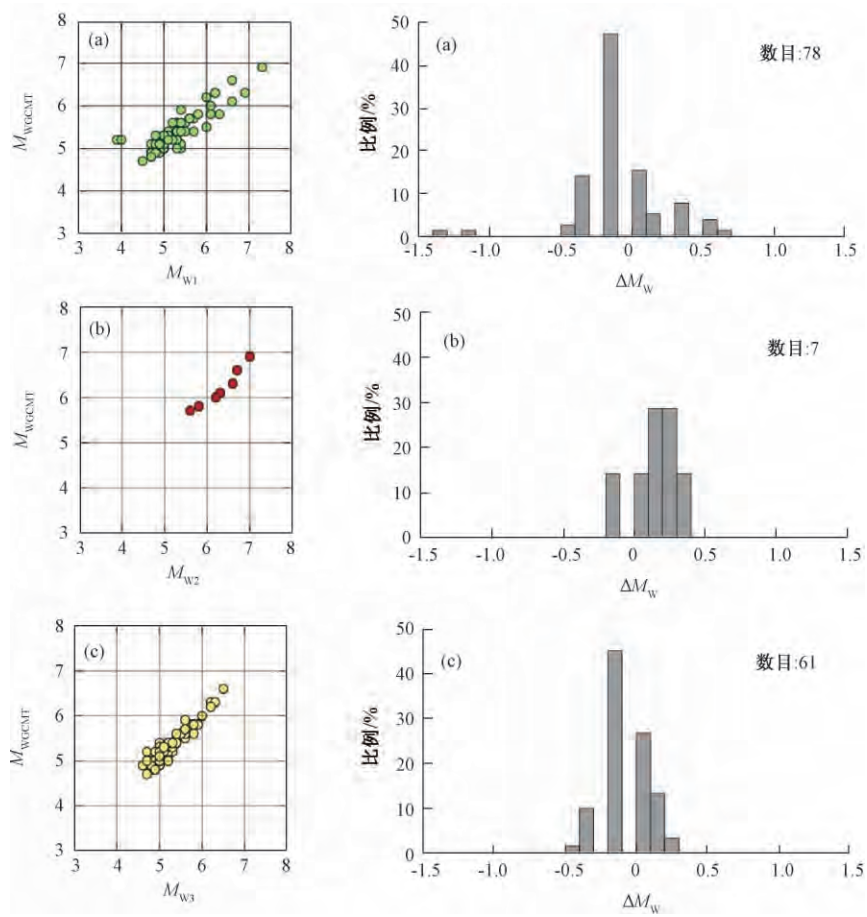


图3 矩震级  $M_{w1}$ 、 $M_{w2}$ 、 $M_{w3}$  与 GCMT 矩震级  $M_{wGCMT}$  的关系及偏差分布

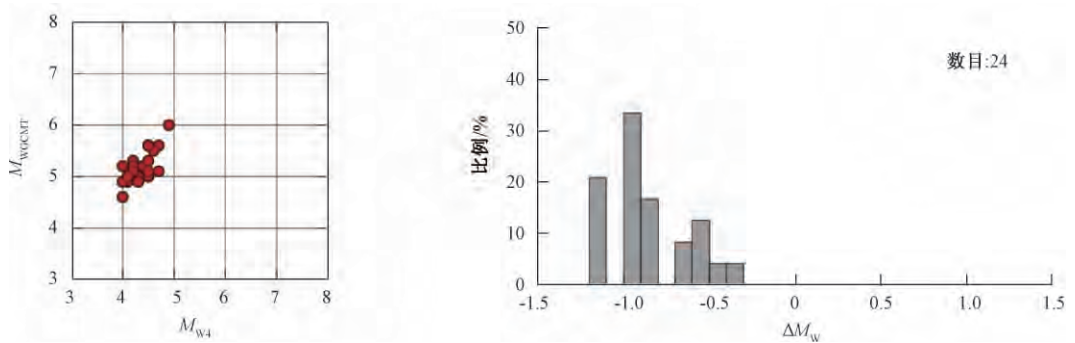


图4 各区域台网产出矩震级与 GCMT 矩震级的关系及偏差分布



表 2 各区域地震台网给出的矩震级与 GCMT 结果的对比

序号	发震日期	发震时间	北纬 / (°)	东经 / (°)	$M_L$	$M_{W4}$	$M_{WGCMT}$
1	2004-08-26	21:54	38.93	104.93	5.2	4.0	4.6
2	2006-07-04	11:56	38.93	116.40	5.5	4.1	4.9
3	2006-11-23	19:04	44.02	83.76	5.5	4.2	5.1
4	2008-08-21	20:24	25.08	97.95	6.0	4.9	6.0
5	2008-08-30	20:46	42.72	83.94	5.6	4.2	5.3
6	2009-01-25	09:47	43.37	80.82	5.4	4.7	5.1
7	2009-04-22	17:26	40.07	77.09	5.4	4.3	5.0
8	2009-07-01	08:29	39.57	73.39	5.7	4.4	5.2
9	2009-07-09	19:19	25.57	101.03	6.3	4.7	5.6
10	2009-07-10	20:57	25.59	101.00	4.8	4.0	5.2
11	2009-10-02	21:49	39.67	96.08	5.4	4.3	5.0
12	2009-10-16	10:56	39.96	76.99	5.2	4.1	5.0
13	2009-11-02	05:07	25.94	100.70	5.3	4.3	4.9
14	2009-11-28	00:04	31.38	104.33	5.4	4.0	4.9
15	2010-01-01	10:08	26.30	99.76	5.1	4.2	5.2
16	2010-02-25	12:56	25.43	101.93	5.6	4.4	5.2
17	2010-03-23	23:02	37.51	74.72	5.2	4.2	5.1
18	2010-03-23	23:51	37.54	74.73	5.2	4.1	5.0
19	2011-03-10	12:58	24.73	97.86	5.5	4.6	5.5
20	2011-06-20	18:16	25.02	98.68	5.6	4.5	5.0
21	2011-08-09	19:50	25.03	98.66	5.6	4.5	5.1
22	2012-06-24	15:59	27.78	100.66	5.9	4.5	5.6
23	2012-09-07	11:19	27.55	103.99	5.9	4.5	5.6
24	2012-09-07	12:16	27.44	103.99	5.9	4.5	5.3

### 3 矩震级、矩张量加入传统目录的必要性

通过以上分析,可以得出以下结论:中国地震局地球物理研究所和地震预测研究所对于我国内陆地区 6 级以上地震矩张量解和矩震级的产出率为 100%,5 级以上地震矩张量解和矩震级产出率为 81%。CAP、同步源及 TDMT-INVC 等 3 种方法得到的震源机制解和 GCMT 给出的震源机制解较为一致,震源机制类型的一致率分别达到 71%、86% 和 66%;P、T 轴空间夹角大多数为 15°左右。产出的矩震级和 GCMT 的矩震级相差不大,偏差在 0.1 内的比率分别为 46%、86% 和 71%,偏差在 0.3 内的比率分别为 84%、100% 和 97%。结果表明对于我国内陆地区的 5 级以上地震,地震矩张量解产出率较高,结果较为一致。而各区域台网由震源参数得出的矩震级和 GCMT 求解的矩震级比较起来明显偏小,需要找出其原因。因此可以考虑先将由矩张量得到的矩震级和震源机制解加入传统地震目录。

目前中国地震台网中心也开始产出矩张量结果 (<http://news.ceic.ac.cn>, 赵旭等, 2014), 区域台网也开始利用本台网的数据产出一些事件的矩张量结果 (康英等, 2012; 陈继峰等, 2013; 康清清等, 2013), 这些结果如何实现共享? 列入地震目录是个很好的途径。

矩张量反演的精度也是目前应该考虑的一个主要问题。不同方法测定的地震事件的震源机制解及矩震级都有不同的偏差 (万永革等, 2001; 徐志国等, 2007), 不同作者对同一地震测定的  $M_W$  也有偏差 (赵仲和, 2013)。GCMT 方法给出每一分量的误差, 其他方法也给出

理论波形和实际波形的拟合程度,因此在给出矩张量结果时要充分考虑测定本身的误差,使用的模型、波形拟合的质量,采用台站的数量及震中被台站包围程度等因素。在考虑这些参数目录加入传统的地震目录时,除了对矩张量解及其误差的描述外,需要在地震编目规范中加入与其相关内容的描述,如测定方法、波形数据来源、产出单位、采用的台站及其分布情况、波形拟合质量等。

鉴于我国已形成了可以在较大地震后快速产出地震矩张量解和震源机制解的常规体制,有必要将中强地震的地震矩张量解、断层面解、主应力轴的方位、倾角和标量地震矩及矩震级等参数在地震目录、地震观测报告中列出,在丰富地震目录内容、提升监测能力的同时,通过快报、正式报的发布也可以提高这些资料的利用率。矩震级是一个绝对的力学标度,地震目录纳入矩震级,可以避免震级饱和的问题,也可以和国际地震资料接轨。将描述震源物理性质的矩张量解纳入地震目录的快报和正式报告中,可以丰富地震观测报告的内容,更好地为地震应急和地震科研服务。

**致谢** 本文采用了中国地震局地球物理研究所和地震预测研究所的矩张量结果,图件采用 GMT 软件绘制(Wessel et al, 1998),在此对相关作者致谢;中国地震台网中心赵旭工程师提供了地球物理研究所和地震预测研究所的矩张量结果,地震预测研究所赵翠萍研究员提供了区域台网的震源参数结果,赵仲和研究员、郑斯华研究员、刘瑞丰研究员及审稿老师给本文提了很好的建议,在此一并致谢。

## 参考文献

- 陈继锋、林向东、何新社,2013,2013年甘肃岷县  $M_s 6.6$  地震矩张量解反演及发震构造初探,地震工程学报,35(3),425~431。
- 陈运泰、吴忠良,1999,中国数字地震学的发展战略问题,国际地震动态,(5),1~5。
- 康英、沈玉松、杨逸等,2012,2012年广东东源4.8级地震的震源机制解,国际地震动态,(6),179~179。
- 康清清、顾勤平、刘红桂等,2013,矩张量反演法在江苏及附近海域的应用,地震地磁观测与研究,34(3/4),1~5。
- 李保昆、陈培善、刘瑞丰,2004,《中国数字地震台网观测报告》震级的确定,地震地磁观测与研究,25(4),8~13。
- 刘超、张勇、许力生等,2008,一种矩张量反演新方法及其对2008年汶川  $M_s 8.0$  地震序列的应用,地震学报,30(4),329~339。
- 刘超、许力生、陈运泰,2010,2008年10月至2009年11月32次中强地震的快速矩张量解,地震学报,32(5),619~624。
- 刘超、许力生、陈运泰,2011,2009年11月至2010年11月27次中强地震的快速张量解,地震学报,33(4),550~552。
- 刘瑞丰,2003,美国地质调查局发布对地震震级的新规定,世界地震译丛,(1),1478~1489。
- 王椿镛、吴庆举、吴建平,2004,对我国地震学未来发展的思考,国际地震动态,(1),1~6。
- 汪素云、高阿甲、冯义钧等,2010,中国地震目录间的对比及标准化,地震,(2),38~45。
- 吴忠良、牟其铎,1994,现代地震目录,国际地震动态,(4),1~4。
- 万永革、周公威、吴忠良等,2001,中国地震震源机制解测定结果的比较,地震地磁观测与研究,22(5),1~15。
- 徐志国、刘瑞丰、任泉等,2007,中国地震台网中心与美国哈佛大学快速震源机制解的对比,地震地磁观测与研究,28(4),1~6。
- 杨晶琼、刘丽芳、杨周胜,2013,云南中小地震矩震级的测定,地震研究,36(3),306~312。
- 赵翠萍、陈章立、华卫等,2011,中国大陆主要地震活动区中小地震震源参数研究,地球物理学报,54(6),1478~1489。
- 赵旭、黄志斌、房立华等,2014,四川芦山  $M_s 7.0$  级强烈地震震源运动学特征,地球物理学报,57(2),419~429。
- 赵仲和,2013,关于震级标度的讨论,国际地震动态,(2),16~20。
- Atkinson G M, Mereu R F, 1992, The shape of ground motion attenuation curves in Southeastern Canada, Bull Seism Soc Am, 82, 2014~2031。

- Bernardi E, Braunmiller J, Kradolfer U, et al, 2004, Automatic regional moment tensor inversion in the European-Mediterranean region, *Geophysical Journal International*, **157**, 703 ~ 716.
- Clinton J F, Hauksson E, Solanki K, 2006, An evaluation of the SCSN moment tensor solutions: Robustness of the  $M_w$  magnitude scale, style of faulting, and automation of the method, *Bull Seism Soc Am*, **96**, 1689 ~ 1705.
- Dreger D S, Helmberger D V, 1993, Determination of Source Parameters at regional distances with 3-component sparse network data, *J Geophys Res*, **98** (B5), 8107 ~ 8125.
- Dreger D S, Tkalčić H, Johnston M, 2000, Dilational processes accompanying earthquakes in the Long Valley Caldera, *Science*, **288**, 122 ~ 125.
- 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 Geophys Res*, **86**, 2825 ~ 2852.
- Dziewonski A M, Woodhouse J H, 1983, An experiment in systematic study of global seismicity: Centroid-moment tensor solutions for 201 moderate and large earthquakes of 1981, *J Geophys Res*, **88**, 3247 ~ 3271.
- Ekström G, Nettles M, Dziewoński A M, 2012, The global CMT project 2004 ~ 2010: Centroid-moment tensors for 13, 017 earthquakes, *Phys Earth Planet Inter*, **200** ~ **201**, 1 ~ 9.
- Fukuyama E, Dreger D, 2000, Performance test of an automated moment tensor determination system for the future "Tokai" earthquake, *Earth, Planets and Space*, **52**, 383 ~ 392.
- Fukuyama E, Ishida M, Dreger D S, et al, 1998, Automated seismic moment tensor determination by using on-line broadband seismic waveforms, *Zishin*, **51**, 149 ~ 156.
- Gee L S, Neuhauser D S, Dreger D S, et al, 1996, Real-time seismology at UC Berkeley: The rapid earthquake data integration project, *Bull Seism Soc Am*, **86**, 936 ~ 945.
- Kawakatsu H, 1995, Automated near-realtime CMT inversion, *Geophys Res Lett*, **22**, 2569 ~ 2572.
- Kawakatsu H, 1998, On the realtime monitoring of the long-period seismic wavefield, *Bull Earth Res Inst*, **73**, 267 ~ 274.
- Kubo A, Fukuyama E, Kawai H, et al, 2002, NIED seismic moment tensor catalogue for regional earthquakes around Japan: Quality test and application, *Tectonophysics*, **356**, 23 ~ 48.
- Moya C A, Aguirre J, Irikura K, 2000, Inversion of source parameters and site effects from strong ground motion records using genetic algorithms, *Bull Seism Soc Am*, **90** (4), 977 ~ 992.
- Pasyanos M E, Dreger D S, Romanowicz B, 1996, Toward real-time estimation of regional moment tensors, *Bull Seism Soc Am*, **86**, 1255 ~ 1269.
- Sipkin S A, 1982, Estimation of earthquake source parameters by the inversion of waveform data: Synthetic waveforms, *Phys Earth Planet Inter*, **30**, 242 ~ 259.
- Scognamiglio L, Tinti E, Michelini A, 2009, Real-time determination of seismic moment tensor for the Italian region, *Bull Seism Soc Am*, **99**, 2223 ~ 2242.
- Wessel P, Smith W H F, 1998, New improved version of Generic Mapping Tools released, *EOS Trans, Amer Geophys U*, **79** (47), 579.
- Zhao L S, Helmberger D, 1994, Source estimation from broadband regional seismograms, *Bull Seis Soc Am*, **84** (1), 91 ~ 104.
- Zhu I P, Helmberger D V, 1996, Advancement in source estimation techniques using broadband regional seismograms, *Bull Seis Soc Am*, **86** (5), 1634 ~ 1641.
- Zoback M L, 1992, Stress field constraints on intraplate seismicity in eastern North America, *J Geophys Res*, **97**, 11761 ~ 11782.

## Feasibility analysis for increasing moment magnitude and focal mechanism in the traditional earthquake catalog

*Kang Ying Yang Xuan Shen Yusong*

Earthquake Administration of Guangdong Province, Guangzhou 510070, China

**Abstract** We reviewed the current situation of the earthquake catalog report in China, and carried out a comparative study of the focal mechanism and moment magnitude reported by earthquake emergency response agencies and local seismic networks in recent years. The results showed: the seismic moment tensor reported by two emergency units which were Institute of Geophysics and Institute of Earthquake Science, China Earthquake Administration is the rate of 100% for all earthquakes having occurred over the domestic land areas with the magnitude of  $M \geq 6.0$ , and the rate was 81% for  $M \geq 5.0$ . The three kinds of seismic moment tensor given by the two emergency units was similar with the seismic moment tensor given by GCMT. In accordance with the seismic moment tensor type classification, the statistical concordance rate reached respectively 71%, 86% and 66%, where the P, T-axis angle of spatial distribution was mainly about  $15^\circ$ . The difference of the moment magnitude was relatively small between two emergency units and GCMT. The deviation ratios of 0.1 were respectively 46%, 86% and 71%. The variation ratios of 0.3 were respectively 85%, 100% and 97%. The results showed that for the earthquakes over the domestic land areas and magnitude with  $M \geq 5.0$  both units output rates are higher and more consistent. The local seismic network reporting moment magnitude about  $M 5.0$  derived from the source parameters and GCMT solving moment magnitude is significantly smaller in comparison. Thus under the current circumstances we discussed the feasibility of an increase of focal mechanism and moment magnitude on the basis of traditional earthquake catalog.

**Key words:** Moment magnitude Focal mechanism Earthquake catalog