

研究简报

怀来盆地的地震活动与活动断裂*

王培德 田玉红 李春来 陈运泰

(中国北京 100081 国家地震局地球物理研究所)

主题词 怀来盆地 地震活动 活动断裂 数字地震台网

怀来盆地位于北京西北部,最近处距北京市区仅约 60 多千米。该地区地震活动活跃。据历史记载,1337 年怀来地区曾发生 $6\frac{1}{2}$ 级地震、1720 年发生 $6\frac{3}{4}$ 级地震。鉴于怀来地区特殊的地理位置,80 年代以来该地区一直被国家地震局列为重点监测区。国家地震局地球物理研究所、国家地震局地球物理勘探中心等单位在怀来地区进行了大量的地球物理探测工作,如地形变、重力、大地电磁场及大规模的地震反射法测深。国家地震局地质研究所等单位在怀来盆地及其周围地区也进行过大规模的地质构造调查工作(冉勇康等,1991a, b, c)。由欧共体支持、国家地震局地球物理研究所和英国地质调查局共同执行的“北京西北延庆-怀来盆地的地震学研究”项目于 1995 年正式启动(王培德等,1995;陈运泰,1996)。按照该项目的计划,中英双方在怀来盆地设置了一个数字地震台网,即怀来数字地震台网。从 1995 年 7 月起,怀来盆地发生了一连串的微小地震活动,怀来数字地震台网很好地记录了这些地震。使用高精度地震定位技术得到的地震震源分布图象清楚地揭示了怀来盆地的活动断裂。本文将分析由微小地震活动分布所揭示的活动断裂与野外地质考察所确定的断裂的关系,并根据历史地震的特征和活动断裂的状况估计怀来及其邻近地区的地震发展趋势。

1 怀来数字地震台网概况

怀来数字地震台网由 5 个野外记录台和一个中心台组成。野外台设在后郝窑、狼山、石河、安营堡和东黄庄,拾震器为 Willmore 速度型的摆,每个野外台安置 3 台拾震器,经模-数转换成三分向数字记录。采样率为 75 sps。野外台检测到的信号用无线传输方式送到中心台。中心台设在位于怀来县城的河北省地震局怀来地震台内,中心台设数据采集系统。各野外台到中心台的直线距离为 6~13 km,它们围绕中心台的张角约 270° 。台站分布如图 1 所示。台网采用全球定位系统(GPS)时钟作为统一的时间标准。中心台记录的数据通过调制解调器用电话线传至北京国家地震局地球物理研究所大楼内,并在所内进行处理。地震数据处理程序为 SEISAN 软件。1995 年 4 月底怀来数字地震台网开始运作。1995 年 7 月 20 日在怀来地区发生了一次最大震级为 $M_L=4.1$ (北京地震遥测台网测定的震级)的地震活动,其后该地区连续不断地发生一连串微小地震。怀来地震台网成功地记录了这个地震序列。至 1996 年 5 月,已记录地震 420 多次,其中大部分为台网内的地震。我们使用 SEISAN 软件中的 HYPO71 定位程序确定了这些地震的震源位置。由于怀来地震台网布局得当、记录设备先进、记录质量优良和高精度的时间服务系统,所以地震定位的精度很高。网内大部分地震在竖向与水平向的定位误差均小于 $0.2 \text{ km}^{①}$ 。

* 国家地震局地球物理研究所论著 97A0055。

1996-08-15 收到初稿,1997-03-20 收到修改稿并决定采用。

① 田玉红,李春来,王培德,1996. 中-欧合作怀来数字地震台网地震观测报告(1995 年 7~12 月),125

2 怀来地区地震活动所揭示的活动断裂

冉勇康等(1991a)通过大量的地质考察指出,怀来盆地最明显的断裂是盆地北部(包括东北部和西

北部)沿盆地边缘的正断层. 对盆地南部,冉勇康等同意前人所做的结论,认为存在一条沿桑干河谷、近东西走向的隐伏断裂,其东端在暖泉附近. 根据物探与化探资料,地貌、地层分布和钻孔资料,冉勇康等(1991b)认为,盆地的北部存在一条走向北西的黄土窑—土木断裂. 由地质工作确定出的怀来盆地内的断裂如图2所示. 震中分布表明,1995年7月开始的怀来地震活动主要分布在怀来盆地南部边缘和北部边缘两个地区(图1). 由方位角 150° 、倾角 20° 时怀来盆地震源分布的三维透视图(图3)和方位角 50° 、倾角 20° 时怀来盆地震源分布的三维透视图(图4)可以清楚地看到,盆地南部的地震活动集中于暖泉一带,地震分布的走向为北东 50° ,沿走向的长度约为7.5 km,倾向南东,地震震源主要分布在深度为4~7 km的范围内. 盆地北部的地震主要

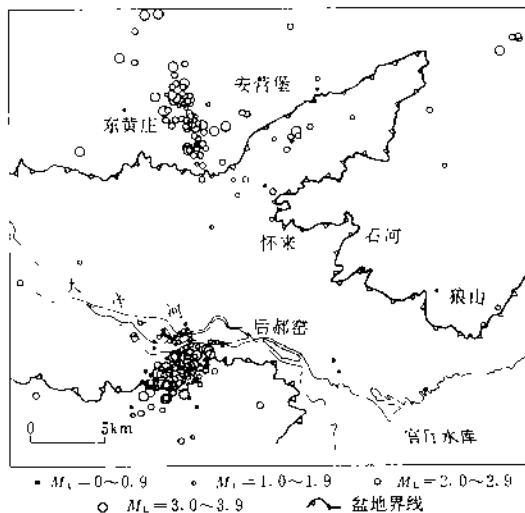


图1 怀来数字地震台网和怀来地区1995年7月~1996年5月地震震中分布图

分布在枣儿口附近,从盆地边缘向北北西方向发展,地震震源主要分布在走向为 340° 、近于竖直的平面上,震源深度大部在3~9 km之间. 南北两侧的地震分布呈X形交叉状,中部不连接. 除这两个地区外,在盆地北部沿北东方向也有一些地震活动. 由地质考察工作所确定出的断裂和1995年7月以来怀来地区的地震活动,可以看出怀来盆地及其周围地区的断裂活动有如下特点:①怀来盆地北部边缘北东走向和

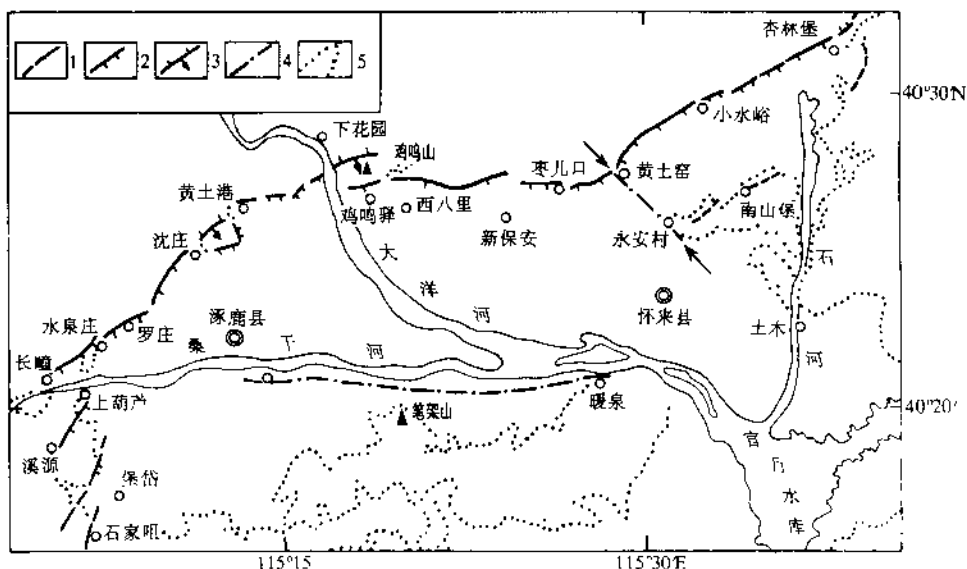


图2 怀来-涿鹿盆地及其周围地区的断裂分布[引自冉勇康等(1996b)]

1. 断层. 实线表示活动断层, 虚线表示中更新世以来不再活动的断层; 2. 正断层;
3. 逆断层; 4. 隐伏活动断层; 5. 无断层部位的盆地边界线

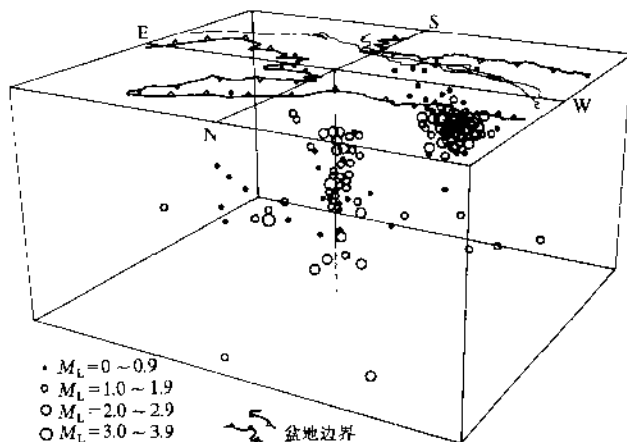


图3 怀来盆地震源分布的三维透视图。视角的方位角为 150° ，倾角为 20°

近东西走向的断裂是活动断裂，但活动程度不高；② 冉勇康等提出的盆地北部走向北西的黄土窑—土木隐伏断裂是实际存在的活动断裂，但根据盆地以北的山区的 1995 年 7 月以来的地震活动，可确定其断裂走向为北北西向。在卫星照片上也可以见到这一条断裂；③ 如果盆地南部沿桑干河河谷确实存在一条近东西走向的隐伏断裂的话，至少从 1995 年 7 月以来怀来盆地南部的地震活动中看不出它正在活动的迹象；④ 怀来盆地南部，在暖泉附近存在一条走向北东的活动断裂，怀来 1995 年 7 月以来的地震主要是这条断裂的活动引起的。这条断裂的规模不大，沿深度方向的延伸也比较浅，它的存在也可从暖泉附近的地貌变化得到印证。

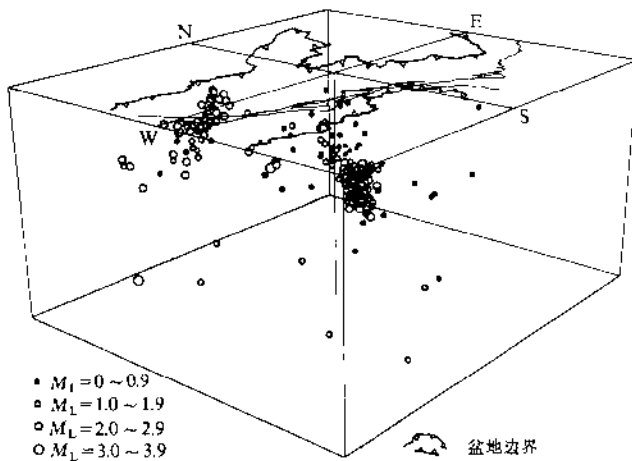


图4 怀来盆地震源分布的三维透视图。视角的方位角为 50° ，倾角为 20°

3 公元 1720 年沙城地震震源区的“闭锁”状态和怀来地区的地震危险性

如何估计怀来盆地及其周围地区潜在的地震危险性，是地震工作者十分关心的问题(布什，王培德，1997)。怀来盆地两侧地震分布指向一个交汇点，因而这个交汇点是已经发生过断裂的地点还是尚未发生过断裂的地点就成为估计当地地震危险性的一个重要因素。怀来地区在历史上曾发生过两次 $6\frac{1}{2}$ 级以上地震：一次是 1337 年 9 月 8 日怀来 $6\frac{1}{2}$ 级地震，另一次是 1720 年 7 月 12 日沙城 $6\frac{1}{4}$ 级地震。这两次地震

分别发生在距今 660 和 277 年以前,现在只能根据地质现象和历史上有震害的记载来判断其震中位置。地质考察结果表明,1337 年地震可能发生在狼山一带。蔡华昌等(1994)通过大量的工作认为,1720 年地震的震中当在沙城东(今怀来县城,115°35'E,40°24'N);并且认为 1720 年沙城地震的震级为 7 级而不是 6 $\frac{3}{4}$ 级。蔡华昌等确定的 1720 年地震的震中位置大致相当于 1995 年以来怀来地震活动所揭示的南北两条断裂的交汇部位。通常认为,地壳中已经发生过强烈地震的部位为薄弱部位,在地壳应力的作用下容易再错动,发生强烈地震。怀来数字地震台网的记录表明,自 1995 年 7 月以来台网记录的 100 余次地震中恰恰没有这一部位的地震。怀来数字地震台网对微小地震的监测能力很强,已经探测到的地震表明,该台网探测到地震震级的阈值为 $M_L=0.2^{[1]}$ 。根据 b 值分析,在台网正常工作期间, $M_L \geq 0.5$ 的地震不会漏记。所以,如果蔡华昌等的判断是正确的,则 1720 年 $M=6\frac{3}{4}$ 地震的活动地区在当前呈现出的是一种“闭锁”状态。在 1720 年发生 6 $\frac{3}{4}$ 级地震 277 年后,怀来地区出现如此频繁的小震活动的现象,预示着在地下应力积累到一定程度的情况下构造运动的再次活跃,表明怀来及其周围地区发生较强烈地震的可能性有所增加。许向彤等(1997)对怀来地震震源机制和区域应力场的研究表明,怀来地区的应力场与华北地区区域应力场一致,说明其地震活动确为华北地区区域应力场应力积累的反映。根据以上现象判断,如果怀来县城下方出现微震或小震活动,则意味着现在存在着的闭锁现象开始解除,其时应引起对怀来(沙城)地区再次发生较强地震的高度重视。鉴于“闭锁区”的范围不大,长约 15 km,若按震源的线性尺度与震级的经验关系(Utsu, Seki, 1954)估算,与一次 $M=6.0$ 地震震源的线性尺度相当,所以该闭锁区若是以一次地震的方式释放已积累的弹性应变能,其震级上限也就是约为 $M=6.0$ 。一次 7 级地震震源的线性尺度约为 50 km;从闭锁区的线性尺度判断,目前在怀来盆地范围内发生 7 级以上地震的可能性不大。

4 结论

自 1995 年开始执行的中国-欧洲共同体合作的地震科研项目“京西北延庆-怀来盆地地震学研究”,自执行以来取得了很好的成绩。地震活动和断裂构造的关系是这个课题成果的一个部分。研究结果第一次揭示了盆地北部走向北北西和盆地南部走向北东的断裂是活动断裂,1995 年 7 月至 1996 年 5 月近一年来怀来盆地的地震活动主要发生在这两条活动断裂上。1720 年沙城 $M=6\frac{3}{4}$ 地震的震源区位于两条断裂的交汇部位。当前,这一部位微震活动“缺失”意味着该部位正处于“闭锁”状态。根据“闭锁区”的线性尺度判断,未来可能发生地震震级的上限约为 $M=6.0$ 。

在本项研究工作进行过程中,作者曾与时振梁、许忠淮研究员做过一些有益的讨论;怀来数字台网的观测工作得到了国家地震局科技监测司和河北省地震局怀来地震台的大力支持。在此,谨向他们表示衷心地感谢。

参 考 文 献

- 蔡华昌,张四昌,胡占安,等,1994. 1720 年河北沙城地震研究. 地震地质, 16(4): 380~388
- 陈运泰,1996. 北京西北延庆-怀来盆地的地震学研究. 国家科学技术委员会国际合作司(主编),中-欧科技合作回顾与评价 1981~1995. 北京:清华大学出版社. 117~121
- 布什(Booth, D.),王培德,1997. 延庆-怀来盆地地震预测研究. 国际地震动态, (3): 1~11
- 冉勇康,方仲景,李志义,等,1991a. 怀来-涿鹿盆地周围的活动断裂及其基本特征. 活动断裂研究, (1): 140~155
- 冉勇康,方仲景,李如成,等,1991b. 延怀盆地黄土窑上-木北西向断层存在与活动的表现. 活动断裂研究, (1): 156~163
- 冉勇康,方仲景,王景本,等,1991c. 怀涿盆地北缘断裂沈庄-郝家坡区间晚第四纪的断裂活动习性. 活动断裂研究, (2): 152~162
- E 培德,王鸣,任道容,等,1995. 中-欧合作“北京西北延庆-怀来盆地的地震学研究”取得进展. 地震地磁观测与研究, 16(6): 8~14
- 许向彤,陈运泰,王培德,1997. 怀来盆地的构造应力场. 地震地磁观测与研究, 18(1): 1~10
- Utsu T, Seki A, 1954. A relation between the area of aftershock region and the energy of main shock. Zisin, 2(7): 233~240(in Japanese)

① 田玉红,李春来,王培德,1996. 中-欧合作怀来数字地震台网地震观测报告(1995 年 7~12 月). 125

全球大震和中国及邻区中强震地震活动 (1997年4~5月)*

陈培善

(中国北京100081国家地震局地球物理研究所)

本目录中的地震参数来自“中国地震台临时报告”(简称“月报”)。其中,国内及邻区给出 $M \geq 4.7$ 的事件,全球给出 $M \geq 6$ 的事件。“月报”由国家地震局地球物理研究所九室按月做出。

本目录中的发震时刻采用协调世界时(UTC);为了方便中国读者,也给出北京时(BTC)。震中位置除给出经纬度外,还给出参考地区名,它仅用作查阅参考,不包含任何政治意义;还给出测定震源位置的台数(n)和标准偏差(SD)。

面波震级 M_s 是对中周期宽频带SK地震仪记录,采用北京台1965年面波震级公式 $M_s = \lg(A_H/T) + 1.66 \lg(\Delta) + 3.5 (1^\circ < \Delta < 130^\circ)$ 求得。 A_H 是两水平分向最大面波位移的矢量合成位移。 M_{S_1} 是对763长周期地震仪记录,采用国际上推荐的面波震级公式 $M_{S_1} = \lg(A_V/T) + 1.66 \lg(\Delta) + 3.3 (20^\circ < \Delta < 160^\circ)$ 求得。 A_V 是垂直向面波最大地动位移。 m_b 是短周期体波震级, M_L 是近震震级。为避免混乱,震级之间一律不换算。为方便读者,还给出美国NEIC定出的面波震级 M_{SZ} 和短周期体波震级 m_b 。

中国及邻区地震目录(1997年4~5月, $M \geq 4.7$)

编 号	发震时刻		地理坐标		深度 (km)	震级				标准使用		偏差台数 (SD) (n)	地 区	
	UTC 月-日 时:分:秒	BTC H 时	φ (°)	λ (°)		M_S	M_{S_1}	M_L	m_b	M_{S1} (NEIC)	m_b			
1	4-2	18:42:08.5	3-02	39.65N 76.88E	27	4.2	4.3	4.7	4.5		4.5	2.8	17	新疆自治区南部
2	5	20:37:43.0	6-04	28.69N 128.51E	33	5.6	5.4	5.7	5.4	5.3	5.4	1.6	39	琉球群岛
3	5	23:46:19.1	6-07	39.60N 76.82E	32	6.3	5.9		5.4	5.9	5.4	1.1	86	新疆自治区南部
4	6	04:36:33.3	6-12	39.44N 77.02E	20	6.2	6.1		5.3	5.8	5.6	1.5	51	新疆自治区南部
5	6	05:09:28.5	6-13	39.37N 76.90E	20	5.2		4.7	4.7		4.4	2.5	21	新疆自治区南部
6	6	12:58:17.3	6-20	39.42N 77.04E	21	5.2	5.1	4.8	4.9	4.8	5.2	1.7	44	新疆自治区南部
7	9	04:02:43.1	9-12	39.66N 76.93E	19	4.4	4.1	4.7	4.4	4.0	4.5	2.5	21	新疆自治区南部
8	10	13:45:32.4	10-21	22.07N 118.28E	5			4.3	4.7			1.7	5	台湾地区
9	11	04:29:11.5	11-12	39.54N 76.85E	23	4.5	4.2	4.7	4.4	4.2	4.5	2.5	15	新疆自治区南部
10	11	05:34:42.9	11-13	39.46N 76.96E	16	6.5	6.3		5.6	6.1	5.8	1.5	66	新疆自治区南部
11	11	05:48:07.7	11-13	38.28N 77.06E	18		4.4	5.0				2.6	6	新疆自治区南部
12	11	12:32:17.7	11-20	39.45N 77.06E	23			4.8	4.5		4.5	2.0	18	新疆自治区南部
13	11	12:42:19.0	11-20	39.52N 76.96E	25	4.9	4.3	3.9	3.9			3.3	12	新疆自治区南部
14	12	21:09:09.3	13-05	39.39N 76.94E	21	5.3	5.2	5.6	4.9	5.0	5.2	1.9	55	新疆自治区南部
15	12	21:14:37.0	13-05	39.89N 77.08E	20			4.8				5.0	5	新疆自治区南部
16	13	17:45:13.8	14-01	23.94N 121.66E	54	4.6	4.6	5.1	5.2		5.2	1.5	57	台湾岛
17	13	22:14:39.4	14-06	30.43N 97.35E	23	4.1	4.2	4.0	4.8		4.5	2.8	22	印度-中国边境地区
18	15	18:19:10.2	16-02	39.59N 77.01E	23	6.2	6.0		5.8	5.8	5.4	1.4	59	新疆自治区南部
19	16	01:23:26.0	16-09	39.73N 76.99E	11	4.4	4.1	4.7	4.6	4.0	4.5	2.4	21	新疆自治区南部

* 国家地震局地球物理研究所论著 97A0062.

续表

编 号	发 震 时 刻		地 理 坐 标		深 度 /km	震 级					标准使用		地 区
	UTC 月-日 时:分:秒	BTC 日-时	$\varphi/(^{\circ})$	$\lambda/(^{\circ})$		M_s	M_{S_0}	M_L	m_b	M_{SZ} (NEIC)	m_b	偏差台数 (SD) (n)	
20	19 08:32:27.3	19-16	32.87N	94.28E	26	4.5	4.2	4.2	4.9		4.4	2.6	31 西藏自治区
21	25 01:45:07.4	25-09	26.49N	96.20E	91				4.8		4.5	1.7	33 缅甸-印度边境地区
22	26 04:55:05.4	26-12	39.63N	76.82E	20	4.4	4.2	4.5	4.7			3.2	13 新疆维吾尔自治区南部
23	5-3 02:46:15.5	3-10	22.71N	121.14E	4	4.7	4.7	4.8	4.8	5.0	5.1	1.7	49 台湾岛
24	14 18:11:28.4	15-02	46.95N	92.94E	20	3.9	3.9	4.9		4.1	4.6	3.4	17 蒙古
25	16 11:18:07.0	16-19	30.37N	97.02E	25	5.3	5.0	5.4	5.3	4.9	5.2	2.0	51 印度-中国边境地区
26	17 03:58:23.5	17-11	39.50N	76.98E	24	5.2	4.9		4.8	4.9	4.9	1.9	38 新疆维吾尔自治区南部
27	27 01:56:26.1	27-09	42.52N	86.25E	25	4.1	4.0	5.2	4.6		4.9	2.1	29 新疆维吾尔自治区北部
28	30 17:54:52.0	31-01	37.32N	78.18E	7	4.9	4.8		4.7	5.2	5.2	2.3	47 克什米尔-新疆边境地区
29	31 06:51:02.1	31-14	25.63N	117.13E	16	5.1	4.6	5.1	4.6			2.1	38 中国东南沿海

全球地震目录(1997年4~5月, $M \geq 6$)

编 号	发 震 时 刻		地 理 坐 标		深 度 /km	震 级					标准使用		地 区
	UTC 月-日 时:分:秒	BTC 日-时	$\varphi/(^{\circ})$	$\lambda/(^{\circ})$		M_s	M_{S_0}	m_b	M_{sz} (NEIC)	m_b	偏差台数 (SD) (n)		
1	4-1	15:11:50.0	1-23	7.82N 82.41W	39	6.2	5.9		5.4	5.7	1.8	82	巴拿马以南地区
2	5	12:23:30.4	5-20	6.50S 147.48E	71	6.2	6.1	5.9		6.1	1.2	117	新几内亚东部地区
3	5	23:46:19.1	6-07	39.60N 76.82E	32	6.3	5.9	5.4	5.9	5.4	1.1	86	新疆自治区南部
4	6	04:36:33.3	6-12	39.44N 77.02E	20	6.2	6.1	5.3	5.8	5.6	1.5	51	新疆自治区南部
5	8	18:07:09.3	9-02	18.39N 121.01E	70	5.4	5.2	6.0		6.0	1.5	51	吕宋岛
6	11	05:34:42.9	11-13	39.46N 76.96E	16	6.5	6.3	5.6	6.1	5.8	1.5	66	新疆自治区南部
7	15	18:19:10.2	16-02	39.59N 77.01E	23	6.2	6.0	5.8	5.8	5.4	1.4	59	新疆自治区南部
8	21	12:02:26.2	21-20	12.60S 166.77E	35	7.6	7.2	6.3	7.9	6.4	1.2	98	瓦努阿图(新赫布里底)
9	21	12:11:26.8	21-20	13.47S 167.05E	31			6.4		6.2	1.7	52	瓦努阿图(新赫布里底)
10	22	09:31:23.4	22-17	11.12N 61.14W	13	7.0	6.8		6.0	6.5	2.2	125	特立尼达
11	23	03:47:18.8	23-11	13.62S 166.59E	36	5.7	5.5	5.9	6.0	5.5	1.0	68	瓦努阿图(新赫布里底)
12	23	19:44:29.5	24-03	13.91N 145.05E	113			5.9		6.2	1.0	100	马里亚纳群岛
13	28	12:07:38.2	28-20	42.11S 42.28E	19	6.3	6.1	5.4	6.3	5.7	1.6	35	爱得华太子群岛地区
14	5-1	11:37:37.1	1-19	19.04N 107.29W	45	7.0	6.8		6.8	6.1	2.4	92	墨西哥哈利斯科海岸远海
15	3	16:46:01.9	4-00	31.54S 179.32W	107			6.7		6.6	0.9	112	克马德克群岛以南地区
16	8	02:53:13.9	8-10	25.08N 92.33E	23	5.9	5.6	5.7	5.6	5.6	1.5	103	印度-孟加拉边境地区
17	8	14:01:10.8	8-22	12.43N 87.58W	48	6.2				5.3	1.4	62	中美洲海岸远海
18	10	07:57:29.8	10-15	33.86N 59.83E	14	7.5	6.9	6.1	7.3	6.4	1.2	115	伊朗
19	11	22:16:17.4	12-06	35.79S 97.56W	19	6.2	6.3		5.8	5.6	2.8	57	太平洋南部
20	13	05:38:29.3	13-13	31.94N 130.25E	29	6.5	6.1	5.6	5.8	5.6	1.2	110	九州岛
21	13	14:13:46.5	13-22	36.62N 70.96E	202			5.9		6.1	0.9	138	兴都库什地区
22	21	14:10:26.7	21-22	20.32S 169.69E	69	6.5	6.4	5.7	6.5	5.9	0.8	56	瓦努阿图(新赫布里底)
23	21	22:51:27.8	22-06	23.14N 79.95E	34	5.7	5.4	5.7	5.6	6.0	0.9	55	印度
24	22	07:50:54.6	22-15	18.49N 101.36W	78	6.6	6.5	5.9	6.0	5.9	1.7	45	墨西哥格雷罗海岸近海
25	23	17:50:35.4	24-01	34.43N 137.77E	26	6.0	6.0	5.2	5.3	5.2	1.5	56	本州南海岸近海
26	25	23:22:30.1	26-07	32.10S 179.80E	330			5.7		6.2	2.8	53	克马德克群岛以南地区
27	27	08:00:29.6	27-16	15.12S 173.39W	8	6.2	6.0	6.0	6.3	5.6	1.2	50	汤加
28	29	17:02:38.7	30-01	35.90S 102.50W	10	6.4	6.4		6.1	5.6	2.3	50	太平洋南部