第 37 卷 第 1 期
2015 年 3 月

地 震 工 程 学 报
CHINA EARTHQUAKE ENGINEERING JOURNAL

Vol. 37 No.1
March, 2015

2009 年 7 月 24 日西藏尼玛西南 M_S5.6 地震研究①

沈小七[1], 索 仁[2], 王 俊[1], 曹华文[2]

(1.安徽省地震局,安徽 合肥 230031; 2.西藏自治区地震局,西藏 拉萨 850000)

摘要:主要研究 2009 年 7 月 24 日西藏尼玛西南 M_S5.6 地震的基本参数、地震序列特征、震源参数、发震构造等;利用震中附近 600 km 范围内台站测定参数研究地震的震源机制解,与哈佛大学给出的震源机制解较一致,且与通过现场考察的发震断层走向具有一致性。研究认为本次地震发生在冈底斯山—拉萨块体内部,断裂为 NNW 向,主要受张应力作用产生左旋走滑正断层活动。此外还分析了震前地震学条带异常特征,结束表明,震前 1 年出现 NW 向条带非常显著,研究结论为该地区今后地震预测提供科学依据。

关键词: 尼玛西南 5.6 级地震; 地震参数; 地震条带

中图分类号: P315.2 **文献标志码**:A **文章编号**: 1000－0844(2015)01－0181－07

DOI:10.3969/j.issn.1000－0844.2015.01.0181

Research on the M_S5.6 Earthquake of July 24,2009 in Southwest Nima,Tibet

SHEN Xiao-qi[1], SUO Ren[2], WANG Jun[1], CAO Hua-wen[2]

(1.*Earthquake Administration of Anhui Province*,*Hefei*,*Anhui* 230031,*China*;
2.*Earthquake Administration of Tibet Autonomous Region*,*Lhasa*,*Tibet* 850000,*China*)

Abstract: An M5.6 earthquake struck Nima,in Tibet,on July 24,2009.According to the displacement of the earthquake surface rupture and destruction of buildings, the earthquake macroscopical epicenter lay between Juncang Town in Nima County and Cishi Town in Cuoqin County.The intensity of seismic area was VII.This article studies the basic parameters of earthquake sequence features, source parameters,seismogenic structure,and so on,making use of related parameters to discuss the focal mechanism solutions identified as consistent with the event by Harvard University.The results are confirmed by field investigation.An inspection of the scene of the earthquake recorded the seismic characteristics of every type of building in the region,and the reasons for damage are summarized,and suggestions made for earthquake disaster prevention and mitigation.This article establishes that the earthquake occurred within the Kailash－Lhasa block,displaying NNW trending mainly under tensile stress generated by a sinistral strike slip with normal faulting. In addition,this article analyzes minor earthquake activity and the imaging features of regional seismicity in Nima before the M_S5.6 earthquake,and compares these with regional seismicity during the M_S5.0 earthquake here in 2009.One to two years before the M_S5.6 earthquake,Nima experienced strong earthquake bursting,and moderate earthquakes of magnitude 3.0 and 4.0 were assigned a state of "Significantly Enhanced" across the area.Twelve months before the M_S

① **收稿日期**:2013-03-23
基金项目:中国地震科技星火计划攻关项目(XH14026);地震行业专项(20130812);安徽省地震局地震科研基金重点项目(20110502)
作者简介:沈小七(1969－),男(汉族),安徽安庆人,高级工程师,主要从事地震分析预报、地震地质等研究工作.
E-mail:ahqxs@sina.com

5.6 earthquake, a seismogenic gap of earthquakes of magnitude 3.0 and 4.0 occurred in the source area, with abnormal images of almost adjoining distribution. Before the M_S 5.6 earthquake, the strong seismic status and abnormal images of small earthquakes in Tibet were the same as associated with the M4.9 earthquake in 2009. The outcomes of this paper are a scientific basis with which to predict earthquakes in future.

Key words: southwest Nima M_S5.6 earthquake; seismic parameters; seismic belt

0 引言

2009 年 7 月 24 日在西藏那曲的尼玛县西南部(31.3°N,86.1°E)发生 M_S5.6 地震。地震发生后自治区地震局组成地震现场工作组于当日下午从拉萨出发,奔赴震区开展地震现场的灾害评估、科学考察和地震应急工作。

本文对该地震的主要研究成果进行整理分析,以期为本区的地震事件研究提供参考。

1 地震参数

根据中国地震台网中心(CENC)记录(表 1),2009 年尼玛西南 M_S5.6 地震的发震时间:2009 年 7 月 24 日 11 时 11 分 58.0 秒;震中位置:北纬 31.30°,东经 86.1°;震源深度:33.0 km。与哈佛大学(HRV)根据地震的矩张量解和美国国家地震信息中心(NEIC)所提供的地震震中、震源深度和震级等参数均存在一定的差异,但都表明这次地震发生在西藏尼玛县西南,震级介于 5~6 级之间。美国 NEIC 给出的震源深度为 13.0 km,西藏地震台网给出的震源深度为 7.0 km。中国地震台网中心最终确定本次地震为西藏尼玛西南 5.6 级地震。

表 1 不同的地震台网所记录的地震参数

Table 1 The seismic parameters recorded by different seismic networks

发震时间	经度/(°)	纬度/(°)	深度/km	震级	资料来源
2009-07-24T 11:11:58	86.10	31.30	33.0	5.6(M_S)	CENC
2009-07-24T 11:12:00	86	31.28	07.0	5.7(M_S) 5.8(M_W)	Tibet ENC
2009-07-24T 11:12:03	86	31.07	30.6	5.7(M_S) 5.7(m_b)	HRV
2009-7-24T 11:11:56	85	31.16	13.0	5.8(M_W)	NEIC

2 发震构造背景及历史地震活动特征

西藏自治区位于印度洋板块向北东方向推挤欧亚板块的前缘地带,是我国强烈地震活动区之一[1]。西藏地区地震多为浅源地震,地震分布的主要特点是成片状,喜马拉雅地区和雅鲁藏布江两侧是强震带,羌塘高原的地震活动相对较弱[2-6]。

根据大地测量资料,喜马拉雅现今仍在持续上升,印度板块继续向北移动,地应力测量、小震观测和震源机制分析都表明区域性主压应力方向为 NNE 向,这和现今的西藏高原内部的构造格局是一致的。雅鲁藏布江以南为强烈挤压构造形变区,高原中部除了挤压变形外,地壳物质还有水平方向的流动,而羌塘高原则反映了脆性破裂的形变特征[7]。

据史料不完全记载,西藏地区 1899 年之前大约发生 5 级以上地震 22 次,1900—2001 年约发生 5 级以上地震 638 次,其中 5~5.9 级地震 474 次,6~6.9 级地震 154 次,7 级以上地震 10 次[8]。

西藏地区的地震活动与地震构造有一定关系:(1)强震多发生在 NE 向、NW 向、SN 向活动断裂及几组断裂的交会部位;(2)构造转折地方,如雅鲁藏布江大拐弯也是强震发生的部位;(3)印度和欧亚大陆板块的碰撞是青藏高原新构造运动和西藏地震发生的动力源,喜马拉雅碰撞带既是现今大陆地震带,也是地热异常带[9]。

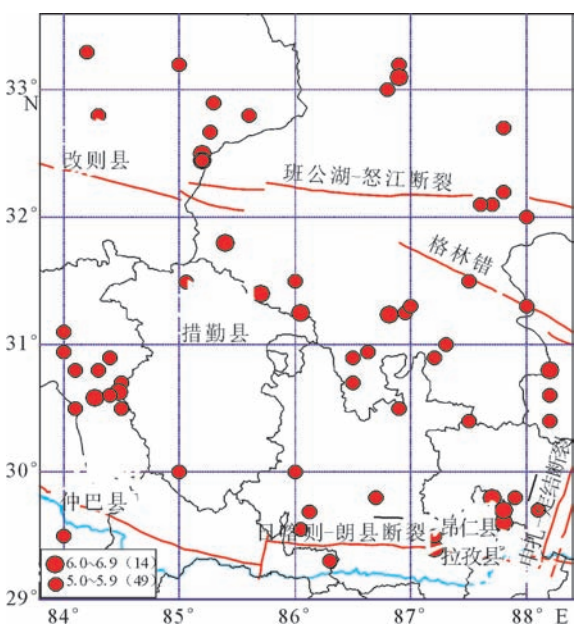


图 1 研究区地震地质图

Fig.1 The seismic geological map of study area

2.1　发震构造特征

本次地震的发震构造可能与 NWW 的断裂走滑错动有关[10]。该地震位于岗底斯山脉的高原地区(图 1)，区域内活动构造较发育，北部发育有班公湖—怒江缝合带，长度 2 000 km，形成于印支时期，为走滑逆断层；最新活动时代 Q_1，产状 NWW60°～70°，在东巧一带出露燕山期的超基性岩，该断裂控制着一系列的河流、湖泊及盆地的发育；东部发育有格林错断层带，走向 NW50°～60°，长 240 km，晚第四纪以来，断层左旋位移山脊、冲沟 200 m。断层带以走滑运动为主，略显张性，在燕山运动晚期以前形成，前第四纪呈右旋逆走滑运动，现今运动方式开始于早中更新世，曾有过多次活动。3 000 年以来，有 3 次强震发生，最早一次地震的地表破裂沿格林错北东支和南东支次级断层分布，其垂直位移达 2 m，水平位移为 6.7 m，长度大于 10 km。

东南部发育有申扎—定结断裂带，总体走向近 NS，长约 110 km，为新沟—越恰错—青都谷地的边界断层，性质为走滑正断层。该断层北段沿南北向谷地西侧发育，在申扎南果地一带与格林错断层相交。沿甲岗东麓向南至查藏错以南，断层沿谷地的东侧发育 3～4 条 NNE 走向的次级断层羽列，向南延伸到青都盆地西侧和南侧附近地区，出现一组规模较小的北东和北西向构造。

区域南部发育有日喀则—朗县断裂，其性质为逆断层，长度达 1 500 km，最新活动时代为 Q_3，产状 NWW，具有地磁、航磁的强异常带。

2.2　区域历史地震活动特征

据历史记载该区曾发生多次 5 级以上地震，并在本次地震附近形成了一条 NE 向和一条 NW 向的条带。从区域范围来看，NW 向的地震条带更加明显(图 1)。统计表明，该地震 2°×2°范围内 1937 年以来发生的 M_S4.7 以上地震 19 次。自 1937 年以来，该区域附近的 M_S4.75 历史地震的活动具有一定的丛集性。1947—1955 年处于一个地震相对活跃时段，发生了 4 次地震，1986 年发生 1 次 M_S6.4 地震和 1 次 M_S5.1 地震，1996 年 7 月 24 日发生 1 次 M_S5.7 地震，到本次地震正好间隔 13 年。该区域的地震在 1945—1955 年间形成了 1 次能量释放加速过程，其后能量释放相对均匀。地震活动的时间间隔最长为 19 年，平均间隔 3～4 年就发生 1 次 M_S4.75以上地震。

3　地震序列特征分析

3.1　台网监控能力评价

西藏测震台网经过“十五”建设，目前共有数字化测震台 15 个(表 2，图 2)，主要集中在拉萨周边附近。藏北、藏西地震台站均相对稀疏，藏东地区由于使用青海、四川等台站资料，监控能力相对较好。拉萨周边能记录到 M_L2.5 左右的小地震，其外围能记录到M_L3.5以上地震。本次地震就发生在M_L3.5地震控制范围内。

3.2　空间序列分布特征

2009 年 7 月 24 日西藏尼玛西南 M_S5.6 地震发生后，西藏地震台网中 14 个台站记录到了相对清晰的地震波形，其中编目使用的台站共有 10 个，分别为 LSA、GZE、PLA、NAQ、SQHE、LKZ、NMU、DXI、MZG、SNA。图 3 是本次地震主震的记录图，遗憾的是离本次地震最近的尼玛地震台由于断电的缘故，没有记录到该地震的地震波形。

西藏地震台网记录到原地发生的余震 1 次，为 2009 年 7 月 24 日 20 时 39 分 56 秒，震级为 M_L 4.3。在主震附近 100 km 范围内，2009 年 7 月 25 日 2 时 14 分 8 秒发生 1 次西藏措勤 M_L3.5 地震。由于监测能力有限，低于 M_L3.5 小震均未记录到。

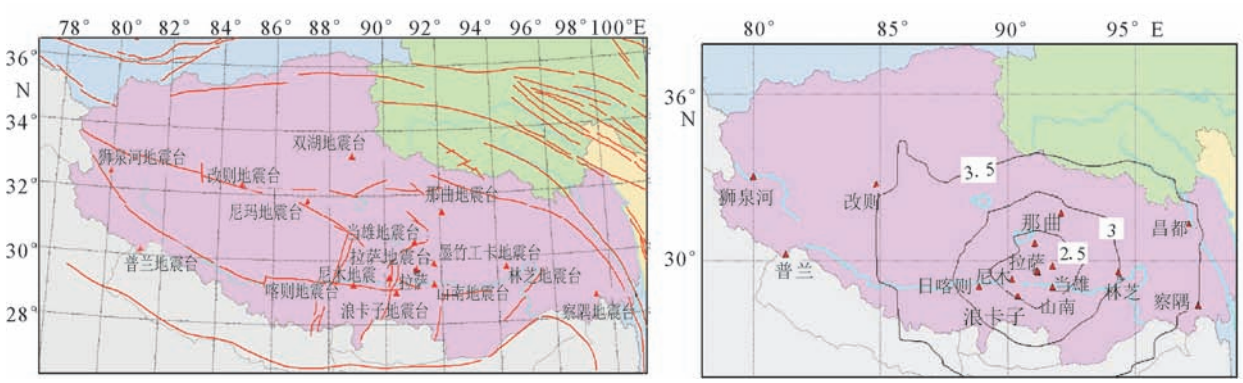


图 2　西藏数字测震台网分布以及监测能力图

Fig.2　Distribution of Tibet digital seismic networks and their monitoring capacity

表 2 西藏地震台网基本情况表

Table 2 Basic situation about Tibet Seismological Network

序号	台站代码	台名	纬度/(°)	经度/(°)	高程/m	台基类型
1	LSA	拉萨	29.71	91.12	3 789.0	花岗岩
2	NAQ	那曲	31.45	92.09	4 500.0	灰质岩
3	RKZ	日喀则	29.23	88.87	3 862.0	砂岩
4	LIZ	林芝	29.70	94.34	2 994.7	砂岩
5	SQHE	狮泉河	32.52	80.01	4 403.0	灰质岩
6	CHY	察隅	28.66	97.47	2 297.1	石灰岩
7	GZE	改则	32.29	84.83	4 095.0	花岗岩
8	PLA	普兰	30.19	81.27	3 787.4	花岗岩
9	LKZ	浪卡子	28.97	90.39	4464.3	花岗岩
10	SNA	山南	29.22	91.75	3 588.8	灰岩
11	NMU	尼木	29.43	90.15	3 797.2	花岗岩
12	MZG	墨竹工卡	29.85	91.75	3 809.6	花岗岩
13	DXI	当雄	30.53	91.07	4 708.0	花岗岩
14	SUH	双湖	33.20	88.83	4 911.4	花岗岩
15	NMA	尼玛	31.80	87.23	4 515.0	砾岩

3.3 时间序列分布特征

自 2008 年 5 月 24 日西藏谢通门 M_L4.3 地震后，2008 年 11 月 18 日发生 1 次 M_L 5.2地震，其后向北西方向迁移，有逆时针旋转的趋势。2009年2月 13 日发生 M_L4.9 地震，主震发生前的最后 1 次地震为 2009 年 6 月 6 日 M_L4.8 西藏尼玛地震。

由图4(a)可知，地震呈现迁移特征，形成的 NW 向条带非常显著，由条带的东南端逐步向西北逼近本次主震的震中位置，震前地震呈增强趋势。

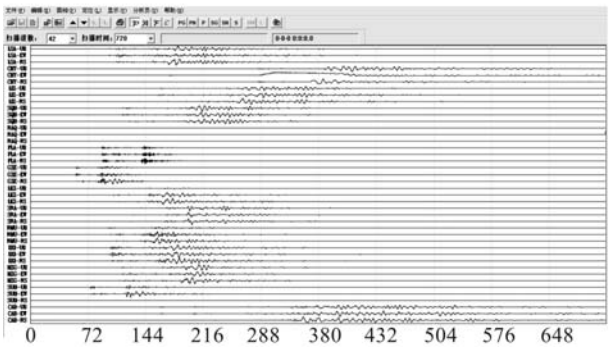
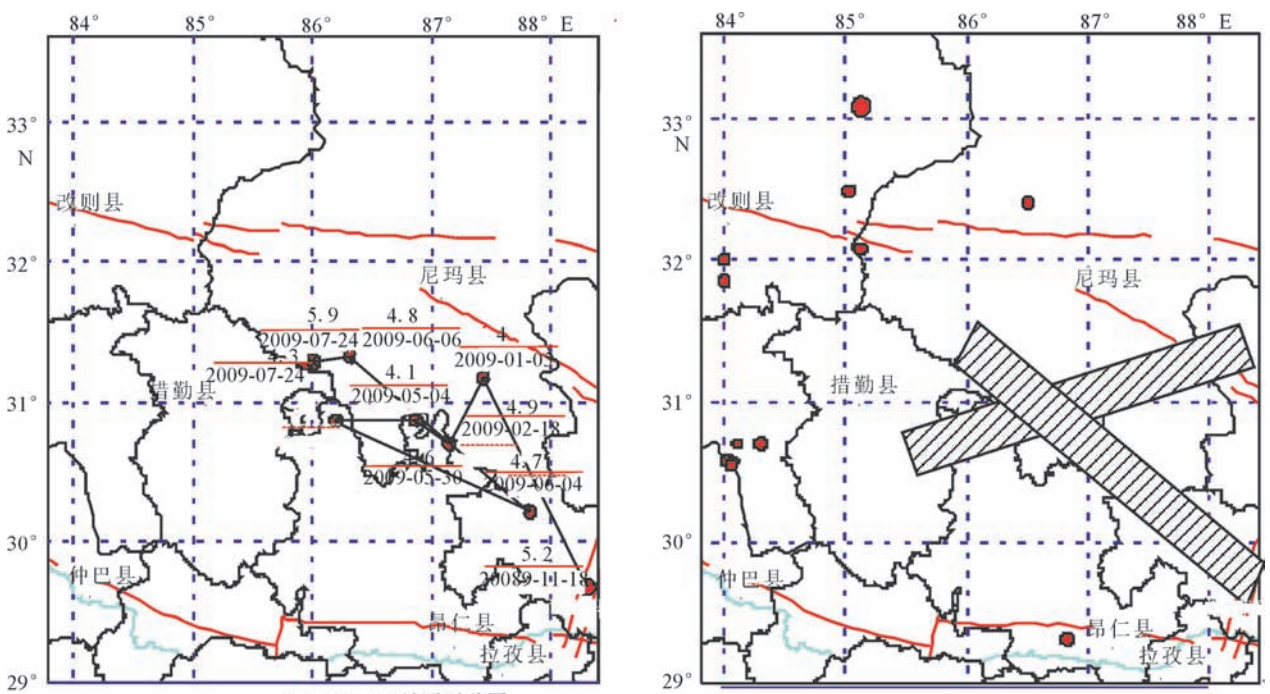


图 3 2009 年 7 月 24 日西藏尼玛西南 M_S5.6 地震波形记录

Fig.3 The waveform records about the M_S5.6 earthquake of July 24, 2009 in southwest Nima, Tibet



(a) M_L≥4.0地震迁移图 (b) M_L≥3.5地震迁移图

图 4 西藏尼玛西南 M_S5.6 地震前迁移及条带分布图

Fig.4 The migration and strip maps before the M_S5.6 earthquake in southwest Nima, Tibet

根据西藏自治区地震监测能力可知，该区域范围内的地震监测能力为 M_L 3.5。图 4(b)为 M_L≥3.5 地震分布图。可以清晰地看到，该地震主震附近分布有 2 条地震条带，以 NWW 向为主，另外一条为 NEE 向。主震发生在 NWW 向条带的端部。

本次地震发生前，条带的地震活动水平在 M_L4.1～4.9 左右，主震发生后地震震级明显降低，呈衰减趋势，2009 年 10 月发生的 2 次地震分别为 M_L3.6 和 M_L4.2(图 5)，由此可见该地震类型为主余震型。

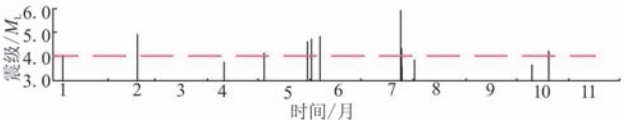


图 5　西藏尼玛 M_S5.6 级地震前后的 M-t 图

Fig.5　The map of M-t before and after the M_S5.6 earthquake in southwest Nima, Tibet

3.4　地震现场考察

地震发生后，现场工作队立即进入震区进行地震考察工作，自西部的措勤县磁石乡逐渐向东部的那曲县进发。现场考察结果：本次地震的宏观震中位于那曲地区尼玛县军仓乡与阿里地区措勤县磁石乡之间，极震区烈度为Ⅶ度，等震线呈椭圆形，长轴走向为 N112°E，Ⅴ度区以上受灾总面积约 1.3 万 km²（图 6）。

Ⅶ度区（极震区）范围：北起贡觉县根色，南到隆子县加绕，东到尼玛县来多，西至军仓乡门挡，长轴约 60 km，短轴约 20 km，面积约 973 km²。

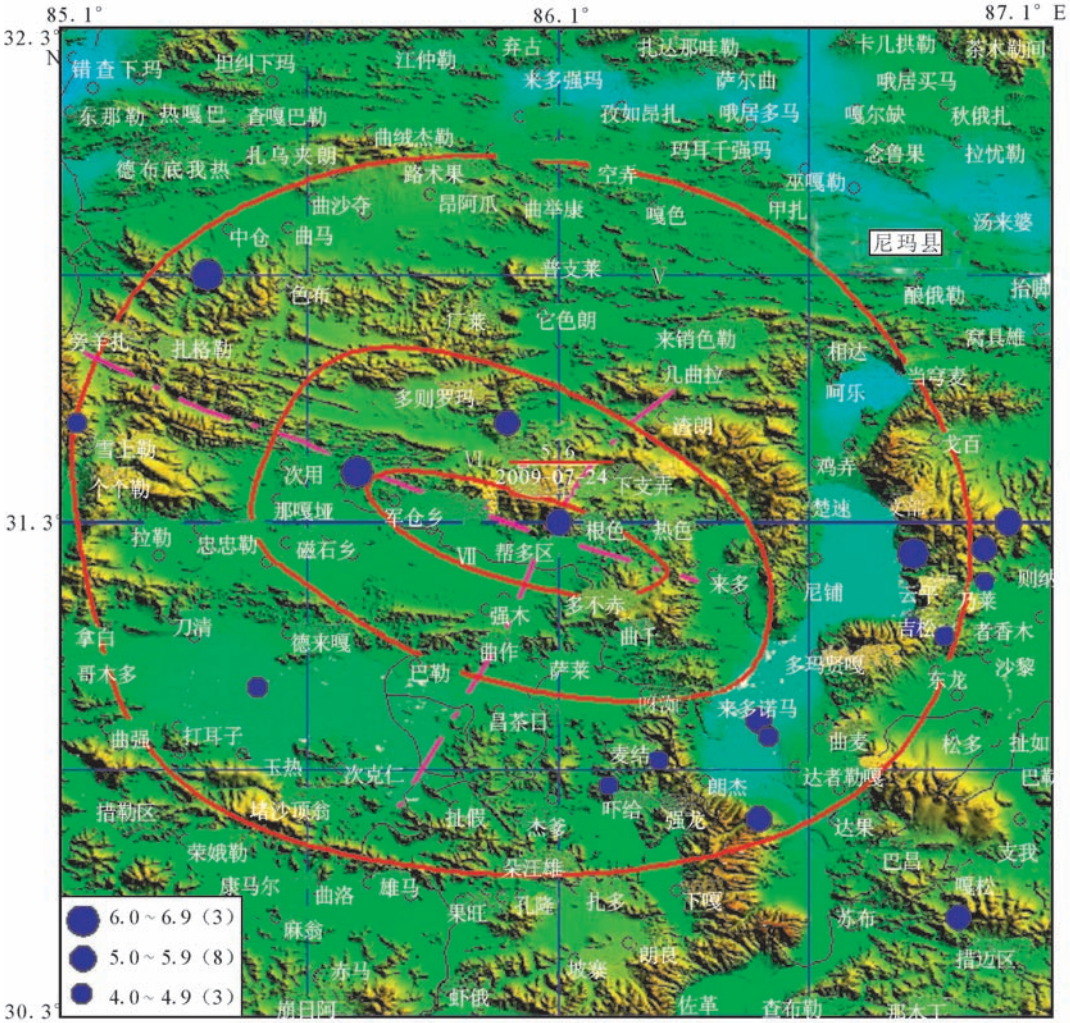


图 6　尼玛 5.6 级地震等震线图

Fig.6　The isoseismal map of Nima M_S5.6 earthquake

Ⅵ度区范围：北起朗县渣朗，南到定结县强木，东到多玛乡多玛贤嘎，西至尼龙玛区尼龙，长轴约 120 km，短轴约 54 km，面积约 3 892 km²（不含Ⅶ度区面积）。

Ⅴ度区范围：北起班文县空弄，南到拉孜县雄马，东到当雄县沙黎，西至措勤县雪上勒，长轴约 170 km，短轴约 88 km，面积约 8 135 km²（不含Ⅶ度和Ⅵ度区面积）。

Ⅶ度区的主要震害特征为：砖混结构房屋开裂较为严重，土木结构房屋墙体少数倒塌或局部倒塌，大多数墙体开裂严重，部分墙体出现穿透性裂缝（图 7）。实地调查还发现措勤县磁石乡加绕村附近的干涸河床，震时出现约 1 m 高的喷水冒沙现象（图 8），干涸的河床出现了 180 m² 左右的水面。生命线工

程部分受损，地表破坏现象较丰富。

Ⅵ度区的主要震害特征为：多数建筑物墙体出现裂缝现象，砖混结构居民房屋受损较小，土木结构房屋墙体普遍受损，其中房屋毁坏(倒塌)、严重破坏、中等与轻微破坏近千余间，地震造成大部分羊圈毁坏，生命线工程少数受损，地表破坏现象有一定范围。

Ⅴ度区的主要震害特征为：房屋以轻微破坏或是局部出现较少裂缝，但在措勤县措勤镇看到职工房屋墙壁出现凸出和较大裂缝，其中最大裂缝宽达 6 cm，出现地基塌陷、倾斜等破坏现象较少。

图 7 民房屋出现穿透性张裂缝

Fig.7 The penetrating cracks in houses

图 8 加绕村地面出现的喷水冒沙现象

Fig.8 The water and sand eruption in Jiarao village

4 震源机制解特征

采用距离本次地震震中 600 km 范围内(图 9)的地震台站记录到的 12 个相对清晰的 Pn 波初动符号，利用 Mapsis 提供的初动符号求震源机制解的程序进行分析研究(图 10)。

震源机制解显示：地震的发震构造可能是 NWW 向的断裂走滑错动(表 3)，这与 2010 文升梁等[3]计算结果是一致的。美国哈佛大学给出的震源机制解表见 4。

对比分析表 3、表 4 可得，本文研究计算得到的震源机制解 2 个节面走向与哈佛大学给出的 2 个节面走 向完全一致，节面A走向均为228°，节面B走向均为 320°。但是 2 个节面的倾角和滑动角并不完全一致，特别是滑动角差异较大，造成这种差别主要原因是台站分布和使用资料的不同[11]。通过现场实地考察分析认为，本文研究给出的震源机制解更为接近真实。由此，根据震源机制解结果进一步解释：(1)节面 A 为右旋滑动，节面 B 为左旋滑动，节面 B 为破裂滑动结构面的可能性较大(图 8)，走向为 320°，方向为 NNW 向，主要受张应力作用，产生走滑左旋正断层；(2)构造应力方式：主要受张应力作用；(3)P 轴的压应力方位角 185°，方向为 SSW 向；(4)P 轴的压应力仰角 16°，为近水平；(5)T 轴张应力范围角 94°，方向为 EES；(6)T 轴的张应力仰角 3°，为水平方向。

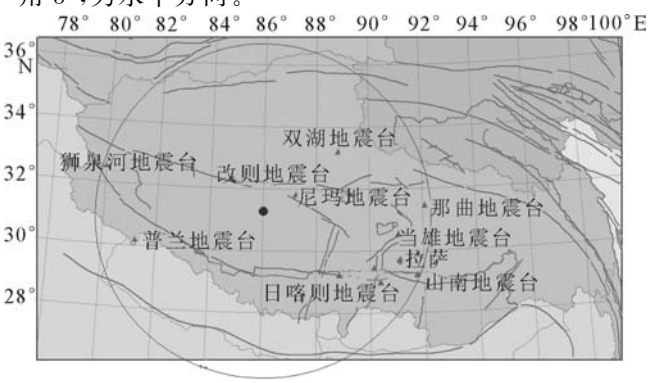


图 9 600 km 范围内地震台站分布图

Fig.9 Distribution of the seismic stations within 600 km

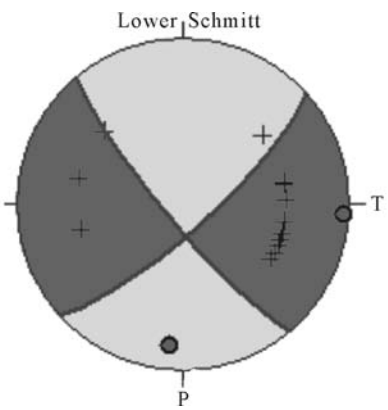


图 10 主震震源机制解图

Fig.10 Focal mechanism solution of the main shock

5 结论与讨论

(1) 本次地震震级以 M_S5.6 较为合适，因此，本次地震应定名为西藏尼玛西南 M_S5.6 地震。

(2) 本次地震的震源机制解结果显示节面 B 为破裂滑动结构面，走向 320°，为 NNW 向，主要受张应力作用产生左旋走滑正断层活动。

表 3　本次研究得到的震源机制解结果表

Table 3　Results of the focal mechanism solution in the study

节面 A			节面 B			P 轴(负区)		T 轴(正区)		N 轴	
走向/(°)	倾角/(°)	滑动角/(°)	走向/(°)	倾角/(°)	滑动角/(°)	方位/(°)	仰角/(°)	方位/(°)	仰角/(°)	方位/(°)	仰角/(°)
228	77	−171	320	81	−13	185	16	94	3	53	74

表 4　哈佛大学给出的震源机解结果

Table 4　The focal mechamism solution results given by Harvard University

节面 A			节面 B			P 轴(负区)		T 轴(正区)		N 轴	
走向/(°)	倾角/(°)	滑动角/(°)	走向/(°)	倾角/(°)	滑动角/(°)	方位/(°)	仰角/(°)	方位/(°)	仰角/(°)	方位/(°)	仰角/(°)
228	84	−18	320	73	−173	−6.27	17	6.85	8	−0.59	71

(3) 主震前 1 年开始，西藏地区自西藏谢通门地震到本次地震间发生的地震，形成了长约 300 km、宽约 70 km 的 NW 向条带。经过几次地震迁移，最终自 2009 年 6 月开始，迁移指向本次主震的震中位置，亦即中期阶段近场区附近地震活动增强，形成条带状迁移的韵律特征，为今后该地区强震发生地点判定提供了借鉴。

(4) 本次地震影响范围大，面积约为 1.3 万 km^2，震中烈度达到Ⅶ度，长轴约为 60 km、短轴约为 20 km，面积为 973 km^2。极震区出现了地声、喷水冒沙等典型震害特征。

致谢：本次研究得到了西藏自治区地震局的大力协助，在此表示衷心感谢！

参考文献(References)

[1] 吴章明，曹忠权，申屠炳明，等.西藏中部发震构造[J].中国地震，1994，10(1)：19-27.
WU Zhang-ming，CAO Zhong-quan，Shen-tu Bin-ming，et al. Seismogenie Tectonics in the Central Tibet[J].Earthquake Research in China，1994，10(1)：19-27.(in Chinese)

[2] 腾吉文，王绍舟，姚振兴，等.青藏高原及其邻区的地球物理特征与大陆板块构造[J].地球物理学报，1980，23(3)：254-267.
TENG Ji-wen，WANG Zhao-zhou，YAO Zheng-xing，et al.Geophysical Characteristics of the Tibetan Plateau and its Adjacent Areas and Continental Plate Tectonics[J].Chinese Journal of Geophysics，1980，23(3)：254-267.(in Chinese)

[3] 腾吉文，孙克忠，魏斯禹，等.中国青藏高原及其边缘地带的地震活动特征[M].北京：地质出版社，1984.
TENG Ji-wen，SUN Ke-zhong，WEI Si-yu，et al.Seismic Activity Characteristics of China's Qinghai—Tibet Plateau and its Margins[M]. BeiJing：Geological Publishing House，1984.(in Chinese)

[4] 郑剑东，郑炳华.从卫星影象探讨西藏地震地质特征[J].地震地质，1982，4(4)：35-44.
ZHENG Jian-dong，ZHENG Bing-dua.Geological Characteristics of Satellite Images From Tibet Earthquake[J].Seismology and Geology，1982，4(4)：35-44.(in Chinese)

[5] 郑剑东.西藏高原的地震活动[J].科学通报，l986，31(23)：1815-1818.
ZHENG Jian-dong.Seismic Activity of Tibet Plateau[J].Chinese Science Bulletin，1986，31(23)：1815-1818.(in Chinese)

[6] 扬理华.喜马拉雅地区新构造运动与强震活动[J].中国地震，1987，3(1)：183-187.
YANG Li-hua. New Tectonic Movement in the Himalayan Region and Earthquake Activity[J]. Earthquake Research in China，1987，3(1)：183-187.(in Chinese)

[7] 艾印双，郑天瑜.青藏高原地震活动及其构造背景[J].地球物理进展，1995，12(15)：30-40.
AI Yin-shuang，ZHENG Tian-yu. Seismic Activity Tibetan Plateau and Its Tectonic Lmplication[J].Progress in Geophysics，1995，12(15)：30-40.(in Chinese)

[8] 西藏自治区地震局.西藏自治区地震监测志[M].北京：地震出版社，2005.
Tibet Autonomous Regional Seismological Bureau. Tibet Autonomous Region Chiearthquake Monitoring[M].Beijing：Seismological Press，2005.(in Chinese)

[9] 文升梁，陶晓莉，曹华文，等. 西藏尼玛 5.6 级地震房屋震害特征分析[J].防灾科技学院学报，2010，12(1)：36-39.
WEN Sheng-liang，TAO Xiao-li，CAO Hua-wen，et al.Seismic Characteristic Analysis of Nima M_S5.6 Earthquake in Tibet [J].J of Institute of Disaster Prevention Science and Technology，2010，12(1)：36-39.(in Chinese)

[10] 徐志国，刘瑞丰，任枭，等.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[J].地震地磁观测与研究，2007，28(4)：1-6.
XU Zhi-guo，LIU Rui-feng，Ren Xiao，et al. Comparison Between Rapid China Earthquake Network SelSm lC Center Mechanism Solution Determined by and Harvard University，U. S[J]. Seismological and Geomagnetic Observation and Research，2007，28(4)：1-6.(in Chinese)