第 34 卷　第 4 期(765~771)　　中 国 地 震　　Vol. 34　No. 4
2018 年 12 月　　EARTHQUAKE RESEARCH IN CHINA　　Dec. 2018

张博、张辉、冯建刚等,2018,2017 年九寨沟 7.0 级地震前不同级别地震空区的演化过程分析,中国地震,**34**(4),765~771.

2017 年九寨沟 7.0 级地震前不同级别地震空区的演化过程分析

张博　张辉　冯建刚　王朋涛

甘肃省地震局,兰州市东岗西路 450 号　730000

摘要　结合传统地震学方法与数字地震学方法,回顾总结了日常分析预报中针对九寨沟 7.0 级地震开展的相关工作,梳理总结了地震前提出的甘东南地震异常信息,进一步讨论了九寨沟地震前中期、短期及临震异常特征。通过分析九寨沟 7.0 级地震之前区域范围内不同震级活动图像,发现甘青川交界地区 5 级空区在震前向震中一侧收缩、4 级地震超长平静 458 天、3 级空区在震前 4 天被打破的现象,同时发现,震中附近区域震源机制一致性较高,反映了震源区的高应力水平。

关键词:　**九寨沟 7.0 级地震　地震平静　地震空区　震源机制一致性**

[**文章编号**] 1001-4683(2018)04-0765-07　　[**中图分类号**] P315　　[**文献标识码**] A

0　引言

据中国地震台网测定,2017 年 8 月 8 日四川九寨沟(33.20°N,103.82°E)发生 7.0 级地震,震源深度 20km。震中附近 100km 范围内曾发生过 1879 年 7 月 1 日武都南 8.0 级地震及 1976 年 8 月 16、23 日松潘-平武 2 次 7.2 级地震。

九寨沟地震震中位于青藏高原巴颜喀拉块体东缘东昆仑断裂带东端塔藏断裂、岷江断裂和虎牙断裂的交汇部位。徐锡伟等(2017)研究了青藏高原东南缘多次中强地震,认为目前该区域块体主干边界活动断层处于中等偏高应力积累状态;易桂喜等(2017)通过 CAP 方法反演了九寨沟地震主余震的震源机制解,推断发震构造为岷江断裂与塔藏断裂之间的隐伏断裂;杨宜海等(2017)通过近震全波形反演的九寨沟地震主震震源机制解为以走滑为主;蒋长胜等(2017)利用 ETAS 模型和 R-J 模型研究了九寨沟地震序列的衰减情况与余震预测效果。

九寨沟地震前,甘青川交界地区存在长达 16 年的大范围 5 级地震平静区,甘东南地区 4 级地震大范围平静,2016 年 5 月 7 日甘肃武山 M_L4.4 地震后,甘东南地区地震活动水平极弱,并形成了大范围的 3 级地震空区,空区持续 453 天后被 2017 年 8 月 4 日舟曲 M_L3.0 地震打破,4 天后发生了九寨沟 7.0 级地震。甘东南 3 级地震空区是震前提出的一项地震活动性

[**收稿日期**] 2017-10-31;[**修定日期**] 2018-04-23

[**项目类别**] 中国地震局兰州地震研究所地震科技发展基金项目(2012Y04)、2018 年度震情跟踪定向工作任务(2018010115)共同资助

[**作者简介**] 张博,男,1986 年生,工程师,主要从事地震活动性与数字地震学相关研究。E-mail:jlubob@163.com

异常,分析人员对该空区作了详细的分析与探讨,并于 2017 年 7 月 25 日提交了关于该空区的异常分析报告,鉴于震前提出的异常快速地对应了地震,故需要对这一异常进行清理分析。

1 甘青川交界地区 5 级地震空区

甘青川交界地区存在大范围 5 级地震的平静区,该平静区自 2001 年 7 月 17 日青海兴海 5.0 级地震后未发生 5 级以上地震。2013 年岷县漳县 6.6 级地震发生之后,先后发生了 2014 年 10 月 2 日青海乌兰 5.2 级、2015 年 10 月 12 日青海玛多 5.2 级、2015 年 11 月 23 日青海祁连 5.2 级、2016 年 1 月 21 日门源 6.4 级地震,这些地震位于平静区的北边缘,平静区存在向 SE 方向收缩的迹象,截至 2017 年底,平静区 5 级地震平静时间已经超过 16 年(图 1、2)。

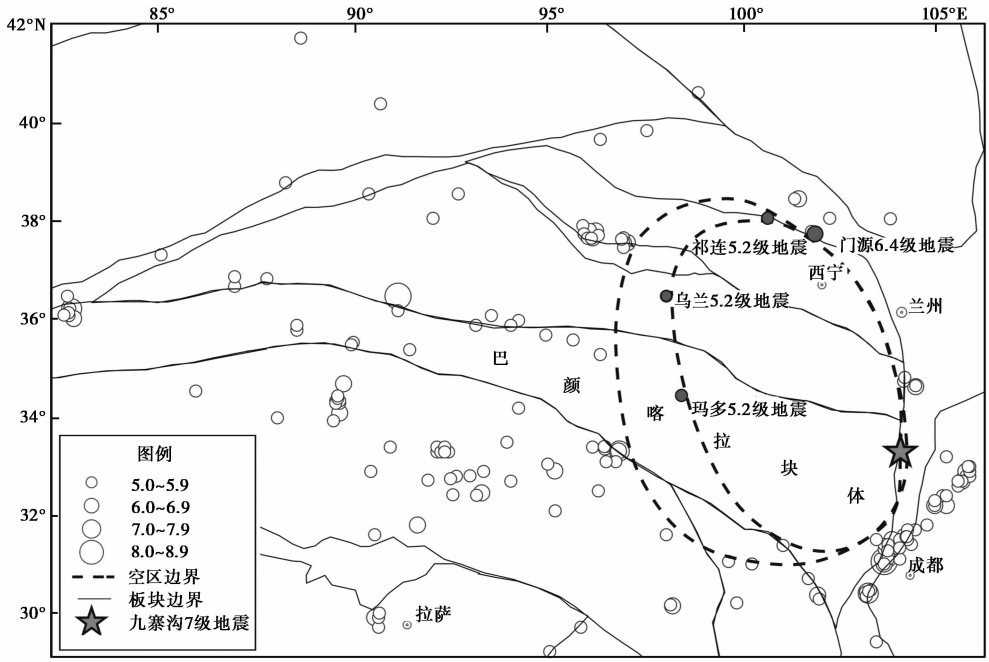


图 1 甘青川交界地区 5 级地震大范围平静收缩

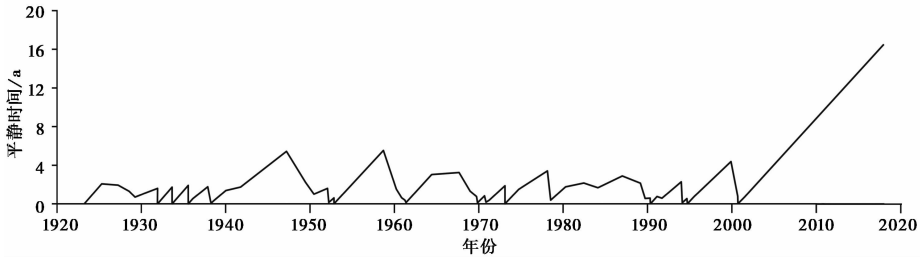


图 2 甘青川交界地区 5 级地震平静区内地震 *M-t* 图

2　甘东南地区大范围 4 级地震平静

2013 年 7 月 22 日岷县漳县 6.6 级地震之后，甘东南地区 $M_L \geq 4.0$ 地震在空间上呈现丛集活动特征，其活动范围主要集中在岷县漳县 6.6 级地震震中以东、西秦岭北缘断裂与礼县罗家堡断裂之间附近区域（图 3）。2016 年 5 月 7 日武山 M_L4.4 地震后，区内 4 级地震大范围平静，平静时间长达 14 个月。2000 年以来区内 4 级平静超过 1 年的现象共发生 4 次，分别为 2008 年汶川 8.0 级地震前 429 天平静、2010 年玉树 7.1 级地震前 537 天平静、2013 年岷县漳县 6.6 级地震前 628 天平静和 2017 年九寨沟 7.0 级地震前 458 天平静（图 4）。可见超过 1 年时间尺度的 4 级地震平静对甘东南地区及巴颜喀拉块体东部强震有一定预测意义。

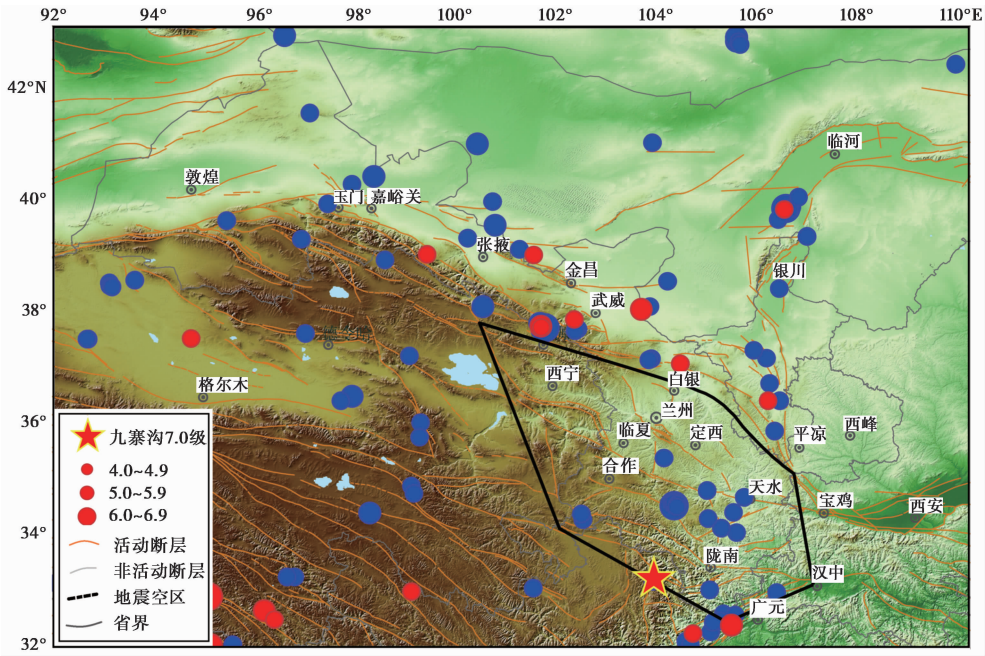


图 3　岷县漳县 6.6 级地震后甘东南地区 4 级地震分布

蓝色圆圈为 2013 年 7 月 22 日~2016 年 5 月 7 日地震；红色圆圈为 2016 年 5 月 8 日~2017 年 8 月 7 日地震

3　甘东南地区 3 级地震平静打破

地震空区，通常指地震带上大震破裂空段的第 1 类空区以及缺少中小地震的第 2 类空区。本文讨论的空区为第 2 类，即在强震发生前震源区及其周围小震活动突然减少的现象，也称为“孕震空区”（Mogi，1979；梅世蓉等，1993；陆远忠等，1985）。

在 4 级地震平静的背景下，甘东南地区同时出现了 3 级地震弱活动。2016 年 5 月 7 日武山 M_L4.4 地震后，区内 3 级地震大范围平静，2017 年 5 月 22 日徽县发生 M_L3.6 地震，使甘东南地区 3 级地震围空最大方位空缺不超过 120°，满足空区判定条件，据此判定 3 级地震空区形成，空区长轴约 391km，短轴约 334km（图 5）。

由 2000 年以来空区内 3 级地震时间进程分析可知，超过 200 天以上平静共出现 4 次

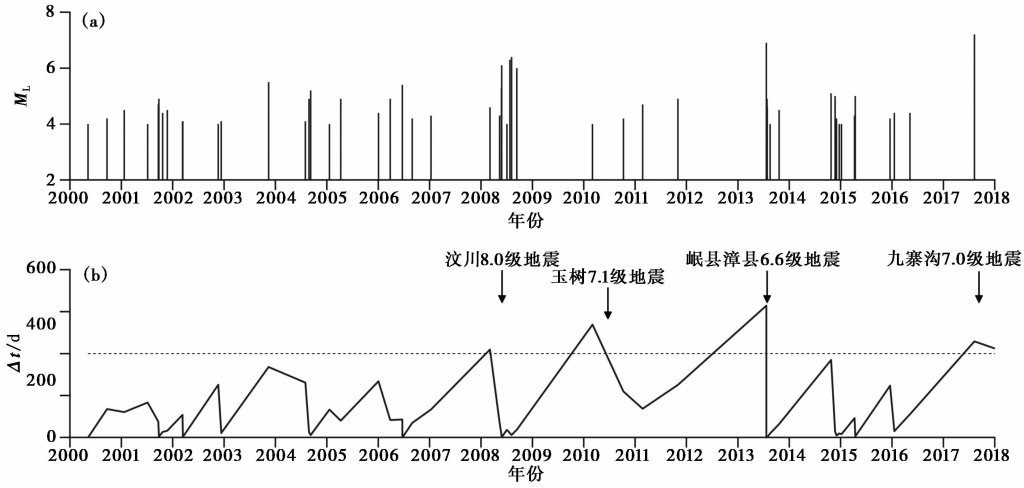


图 4 2000 年以来甘东南地区 M_L4.0 地震 M-t 图(a)与时间间隔(b)

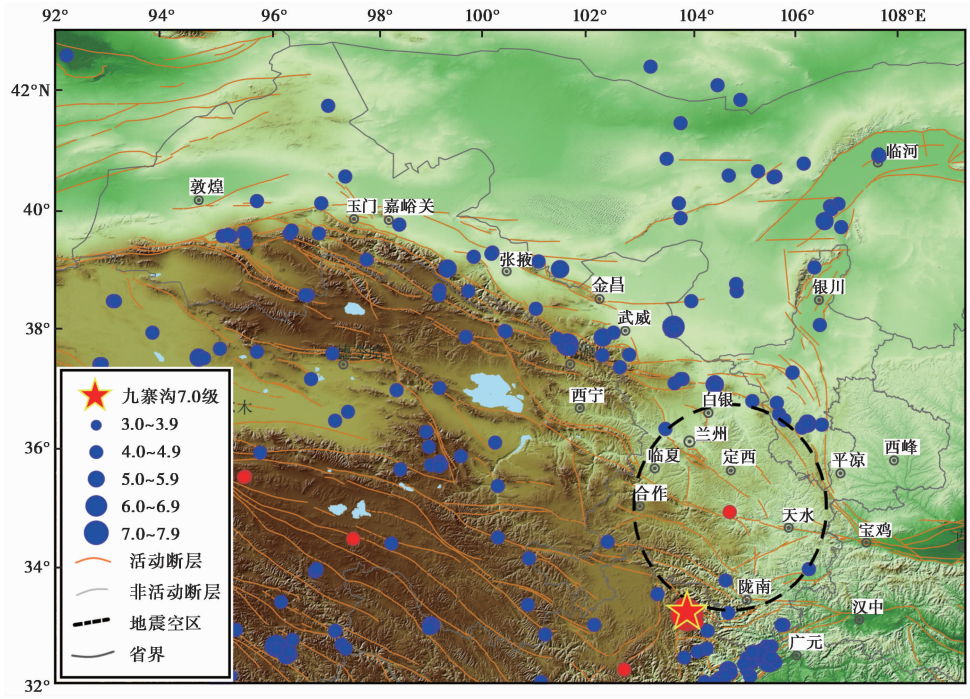


图 5 甘东南 M_L3.0 地震空区与主震位置

蓝色圆圈为 2016 年 5 月 8 日~2017 年 8 月 7 地震;红色圆圈为 2017 年 8 月 7~12 日地震

(图 6),其中,汶川 8.0 级地震前出现 280 天平静,岷县漳县 6.6 级地震前的 2 次平静时间分别为 305、206 天。2017 年 8 月 4 日舟曲 M_L3.0 地震,打破了 3 级地震 453 天的超长时间平静。8 月 8 日发生九寨沟 7.0 级地震后,8 月 12 日空区内又发生陇西 M_L3.2 地震。至此,空区解体并很快对应了空区边缘的 7 级强震。

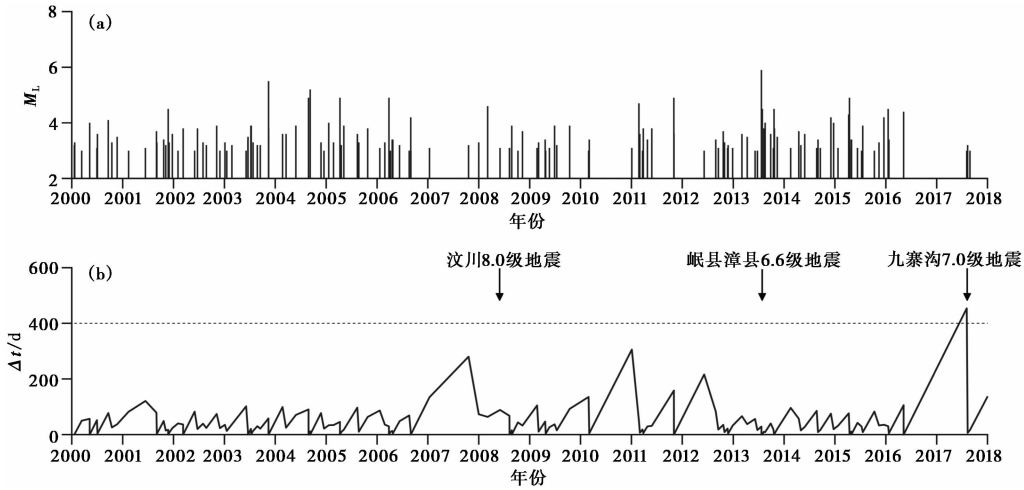


图 6　2000 年以来空区内 M_L3.0 地震 M-t 图(a)与发震时间间隔(b)

在广泛研究地震空区的基础上，国内外学者对空区围空震级、空区形成时间、空区大小等与主震震级等参数间的关系归纳出一些经验关系式。王炜等(1989)研究了华北地区 13 次中强以上地震前孕震空区的围空时间与围空长轴间的统计关系。曲延军等(2010)研究了中国大陆 5 个区域空区形成后发生的主震与空区形成持续时间、空区空间分布尺度等之间的统计关系。吕坚等(2016)研究了空区持续时间、起始震级及围空长轴尺度与主震震级间的关系。

利用吕坚等(2016)给出的中国大陆空区持续时间与主震震级、青藏高原北部地区空区围空震级与主震震级、空区长轴尺度与主震震级之间的关系，对主震震级预测作了回顾性检验，检验公式为

$$M = 0.5641\lg T + 5.2629 \pm 1.6660 \tag{1}$$

$$M = 0.6370 M_L + 3.9537 \pm 1.7309 \tag{2}$$

$$M = 2.1639\lg L + 0.7469 \pm 1.3365 \tag{3}$$

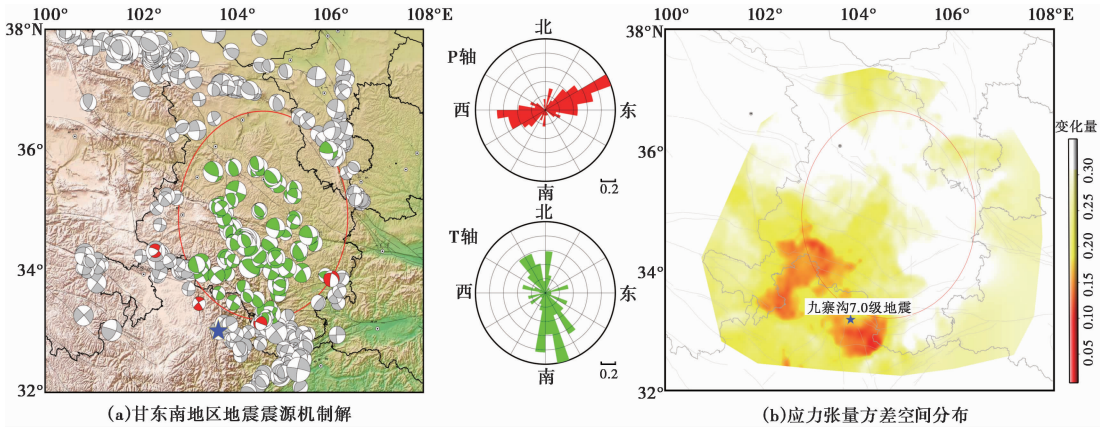
其中，T 为空区围空时间，单位为月；L 为空区围空长轴，单位为 km；M_L 为空区围空震级。

据式(1)~(3)，不考虑拟合误差可得：由空区持续时间预测的主震震级为 5.9 级，由空区围空震级预测的为 5.9 级，由空区长轴尺度预测的为 6.4 级。由此可见，三者预测的主震震级相差不大，预测震级约为 6 级。

4　震源机制一致性

应力张量方差是衡量地震震源释放应力场与区域构造应力场一致性程度的定量指标(Michael，1987)。当方差<0.1 时，意味着可以用 1 个统一的应力张量来解释观测到的震源机制解，也可以理解为该区域的应力场是均匀的，震源机制具有很好的一致性；当方差>0.2 时，表明该区域的应力场在时间和空间上具有非均匀性，或者说该区域的震源机制比较紊乱(Lu et al，1997)，因此中小地震震源机制一致性时空分布能够反映局部区域应力场应力水平的高低(李金等，2015)。

图 7(a)给出了 2001 年 1 月~2017 年 8 月甘东南地区 $M_L \geqslant 2.5$ 中小地震的震源机制解，采用应力张量反演方法(Michael,1984、1987)对该地区进行 0.1°×0.1°的网格化反演获得了该区域应力场的空间分布(图 7(b))。计算结果显示，甘东南地区中小地震震源机制一致性程度较高的区域为甘川交界区，九寨沟 7.0 级地震震中恰好位于异常区域高值附近。



(a)甘东南地区地震震源机制解 (b)应力张量方差空间分布

图 7 甘东南 $M_L \geqslant 2.5$ 中小地震的震源机制与一致性分布

5 空区演化过程分析

本文通过对 2017 年 8 月 8 日九寨沟 7.0 级地震前甘东南地区地震活动图像特征及震源机制一致性进行分析得到以下初步认识：

(1)预测强度分析。甘青川交界地区大范围的 5 级地震平静对震级的预测可达 7 级左右；甘东南地区 4 级与 3 级地震平静对震级的预测为 6 级左右。

(2)预测地点分析。甘青川交界地区 5 级地震空区震前演化特征为向 SE 方向收缩，九寨沟 7.0 级地震位于空区收缩方向一侧震源机制一致性参数较高的区域。

(3)提出震情跟踪思路。甘青川交界地区 5 级地震平静作为一项背景异常，在年度学科会商中早已提出，可作为 6~7 级强震的跟踪地区重点关注；而 3 级、4 级小震的空区时空演化特征可为发震紧迫性提供参考。

本文结合传统地震学方法与数字地震学方法，综合分析了九寨沟 7.0 级地震前甘东南地震活动异常的时空特征，回顾总结了在日常分析预报中有关此次九寨沟地震的工作，并按照“长—中—短—临”渐进式预报思路，梳理了与此次地震发生有关的一些中期、短期、临震异常。研究工作为今后科学开展甘东南地区地震趋势研判与分析提供了经验。

参考文献

蒋长胜、庄建仓、吴忠良等，2017，两种短期概率预测模型在 2017 年九寨沟 7.0 级地震中的应用和比较研究，地球物理学报，**60**(10)，4132~4144.

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.

李金、周龙泉、龙海英等，2015，天山地震带(中国境内)震源机制一致性参数的时空特征，地震地质，**37**(3)，792~803.

陆远忠、陈章立、王碧泉等，1985，地震预报的地震学方法，北京：地震出版社.

吕坚、宋美琴、周龙泉等，2016，基于《中国震例》的地震空区和地震条带统计特征，地震，**36**(4)，22～34.
梅世蓉、冯德益、张国民等，1993，中国地震预报概论，49～65，北京：地震出版社.
曲延军、王海涛、邬成栋等，2010，中国大陆地震空区统计特征分析，地震学报，**32**(5)，544～556.
王炜，黄冰树，陆远忠等，1989，孕震空区方法在地震预报中的应用及其效能的研究，见：许绍燮，地震预报方法实用化研究文集——地震学专辑，北京：学术书刊出版社.
徐锡伟、陈桂华、王启欣等，2017，九寨沟地震发震断层属性及青藏高原东南缘现今应变状态讨论，地球物理学报，**60**(10)，4018～4026.
杨宜海、范军、花茜等，2017，近震全波形反演 2017 年九寨沟 *M*7.0 地震序列震源机制解，地球物理学报，**60**(10)，4098～4104.
易桂喜、龙锋、梁明剑等，2017，2017 年 8 月 8 日九寨沟 *M*7.0 地震及余震震源机制解与发震构造分析，地球物理学报，**60**(10)，4083～4097.
Lu Z，Wyss M，Pulpan H，1997，Details of stress directions in the Alaska subduction zone from fault plane solutions，J Geophys Res，**102**(B3)，5383～5402.
Michael A J，1984，Determination of stress from slip data：faults and folds，J Geophys Res，**89**(B13)，11517～11526.
Michael A J，1987，Use of focal mechanisms to determine stress：a control study，J Geophys Res，**92**(B1)，357～368.
Mogi K，1979，Two kinds of seismic gaps，Pure Appl Geophys，**117**(6)，1172～1186.

Analysis of Seismicity Characteristics of the Jiuzhangou M_S7.0 Earthquake on August 8，2017

Zhang Bo　Zhang Hui　Feng Jiangang　Wang Pengtao
Gansu Earthquake Agency，Lanzhou 730000，China

Abstract　This article integrates traditional seismological methods with digital seismological methods，reviews and summarizes the work of the Jiuzhaigou M_S7.0 earthquake in our daily analysis and forecast work. The anomalous information is summarized before the earthquake in southeast Gansu. Some mid- and short-term and impending earthquake anomalies related to the occurrence of this earthquake are also combed. The seismic activity images of different magnitudes in the area before the Jiuzhaigou M_S7.0 earthquake are analyzed. It is found that the M_S5.0 seismic quiescence in the western region of China is contracted to the epicenter before the earthquake. The super long calm time of the M_L4.0 seismic quiescence reaches 458 days and the M_L3.0 seismic gap is broken in 4 days before the earthquake. At the same time，the focal mechanism in the vicinity of the epicenter is highly consistent，which reflects the high stress level in the focal region. The research work does not only explore the potentially regular occurrence of this earthquake，but also provides a more valuable experience and methods of reference.

Key words：Jiuzhaigou M_S7.0 earthquake；Seismic quiescence；Seismic gap；Consistency of focal mechanism