

2005 ~ 2007 年中国大陆 6 级以上地震 超长平静的跟踪预测研究^{*}

刘 杰¹, 郭铁栓¹, 杨立明², 苏有锦³, 刘桂萍⁴

(1. 中国地震台网中心, 北京 100046 2 甘肃省地震局, 兰州 730009

3. 云南省地震局, 昆明 650224 4 中国地震局监测预报司, 北京 100036)

摘要: 在介绍中国大陆 2005 ~ 2007 年出现的 6 级以上地震超长平静背景和特点的基础上, 系统总结了近 3 年来对该超长平静现象的跟踪预测过程, 并对当前地震形势跟踪判定过程存在的问题和失误进行了讨论。

关键词: 地震平静; 地震形势; 跟踪预报; 中国大陆

中图分类号: P315.75 文献标志码: A 文章编号: 1000-0666(2008)04-0324-06

0 引言

2008 年 5 月 12 日四川汶川发生 8.0 级特大地震, 这次地震前中国大陆在 2005 ~ 2007 年曾出现过 756 天的 6 级以上地震超长平静。笔者对本次平静现象进行了总结分析, 介绍了对这次平静现象的认识及跟踪预测过程。

地震形势的跟踪判定是指对未来一段时间(数月尺度)地震活动的趋势和活动地区的判定。与地震短临预报相比, 无论是地震活动水平估计还是地点判定都比较宏观(地震预报管理条例释义编写组, 1999)。这项工作是中国地震台网中心和各省市地震局分析预报中心日常会商的重点内容之一。为加强这方面的工作, 中国地震局监测预报司成立了全国 7 级地震与地震形势跟踪专家组, 重点对中国大陆近期出现的新情况进行跟踪研究, 并提交中国大陆季度趋势预测意见。

1900 年以来中国大陆年均发生 3 ~ 4 次 6 级以上地震, 但自 2005 年 4 月 8 日西藏仲巴 6.5 级地震后, 中国大陆出现了 6 级以上地震超长平静。我们对这个现象的注意是在 2006 年上半年, 当时 6 级以上地震平静已有 1 年。在 2006 年年中会商会时, 该平静已被作为重点异常放在全国会商会上进行讨论。到 2006 年底, 平静时间已超过 600 天, 是 1900 年以来 6 级以上地震最长的平静时段, 这时无论是年底的全国年度会商会还是 2007 年以来

的周、月、年度会商会, 6 级地震何时被打破, 以及超长平静打破后中国大陆的地震形势, 成为各次会议关注的重点(中国地震台网中心, 2006, 2007; 郭铁栓等, 2006)。

2007 年 5 月 5 日西藏日土、改则发生 6.1 级地震, 打破了中国大陆 756 天的 6 级以上地震超长平静, 之后中国大陆中强地震开始活动, 先后发生 5 月 7 日西藏妥坝 5.6 级地震和 6 月 3 日云南宁洱 6.4 级地震。但 2007 年 7 月 20 日新疆伊犁 5.7 级地震后, 中国大陆 5 级以上地震再次出现 172 天的平静。2007 年全年中国大陆仅发生 6 次 5 级以上地震, 是 1950 年以来地震频次最低的年份。进入 2008 年, 中国大陆地震活动出现显著增强, 先后发生 1 月份西藏改则 6.9 级地震、3 月份新疆于田 7.3 级地震和 5 月份四川汶川 8.0 级地震。

本文是笔者依据全国 7 级地震与地震形势跟踪专家组近 3 年的跟踪研究成果, 从地震形势的跟踪判定的角度, 对这次 6 级以上地震平静的预测过程进行系统总结和分析的结果。

1 6 级以上地震超长平静的背景

进入 21 世纪, 中国大陆地震活动出现了一些新的活动特点, 最显著的是 2001 年 11 月 14 日昆仑山口西 8.1 级地震打破中国大陆长达 50 年的 8 级以上地震平静。2002 年我国大陆地震活动异常平静, 并出现了长达 6 个多月无 5 级以上浅源地震的时段,

* 收稿日期: 2008-07-05.

基金项目: 国家“973”项目(2004CB418406)和国家科技攻关项目(2006BAC01B02-01-04)联合资助.

全年最大浅源地震为 6 月 29 日青海治多 5.9 级地震。2003 年, 中国大陆中强地震开始活跃, 到 2005 年 4 月, 共发生 6 级以上地震 10 次, 最大地震为 2003 年 2 月 24 日新疆巴楚—伽师 6.8 级地震。2005 年 4 月 8 日西藏仲巴 6.5 级地震后, 中国大陆出现 2 年的 6 级以上地震平静, 5 级地震的频次也不高。地震活动增强、平静交替现象比较明显 (图 1)。

表 1 给出了 1900 年以来 6 级以上地震平静超过 500 天的平静开始和打破的标志性地震情况。可以看到, 若不考虑本次平静, 历史上最长的 6 级以上地震平静时间为 568 天, 而且打破平静的地震均是 6 级地震。2005 ~ 2007 年出现的 6 级以上地震平静时间达 756 天, 是以现有资料统计得到的历史上最长的平静, 根据历史震例的特点, 打破平静的地震是 6 级地震的可能性较大。

为了更好地分析 6 级以上地震超常平静对未来地震趋势的指示意义, 表 1 同时给出了超常平静打破后 1 年内中国大陆及周边发生 7 级以上地震的情况。可以看到, 平静打破后 1 年内, 4 次震例中有 3 次 7 级以上地震发生在中国大陆, 另一次 8 级大震发生在蒙古。因此, 平静打破后未来地震趋势如何, 是非常值得关注的。

表 1 中国大陆 6 级以上浅源地震 500 天以上的平静及其后 1 年内中国大陆及周边 7 级以上地震统计

平静开始地震	平静结束地震	平静时间 / 天	间隔距离 / km	震后 1 年 7 级以上地震情况
1911—10—15 西藏扎达 6.7	1913—03—06 西藏那木扎 6.2	507	286	1913—12—31 云南峨山 7.0 1914—08—05 新疆巴里坤 7.5
1955—09—23 云南永仁 6.7	1957—04—14 西藏阿木中 6.8	568	1 772	1957—12—04 蒙古 8.3
1967—08—30 四川炉霍 6.8	1969—02—12 新疆乌什 6.3	531	2 178	1969—07—18 渤海 7.4 1970—01—05 云南通海 7.8
1987—04—30 新疆乌恰 6.0	1988—11—05 青海格尔木 6.8	554	1 564	1988—11—08 云南澜沧、耿马 7.6、7.2
2005—04—08 西藏仲巴 6.5	2007—05—05 西藏日土 6.1	756	473	2008—03—21 新疆于田 7.3

与此对应, 2001 年昆仑山口西 8.1 级地震后, 中国大陆周边地区地震活动水平较高, 先后发生 2003 年 9 月 26 日俄蒙中交界 7.9 级、2005 年 10 月 8 日巴基斯坦 7.8 级等强震。此外, 2004 年 12 月 26 日和 2005 年 3 月 29 日印尼苏门答腊还发生了 8.7、8.5 级特大地震。因此, 2005 ~ 2007 年中国大陆出现的 6 级以上地震平静是在近几年中国大陆及邻区连续发生 7.8 级以上大震的背景下发生的。

对比图 2 可以看到, 本次平静状态与 1911 年和 1955 年后的平静状态有些相似, 但与 1967 年和 1987 年的平静状态不同。

4 次典型震例中, 前 2 次显示出中国大陆西部

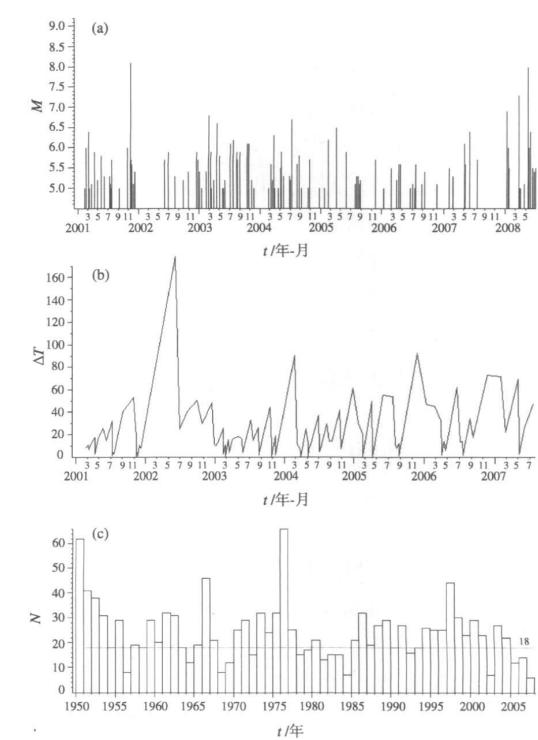


图 1 中国大陆 5 级以上浅源地震 M—t 图 (a)、时间间隔 ΔT —t 图 (b) 和年频度图 (c)

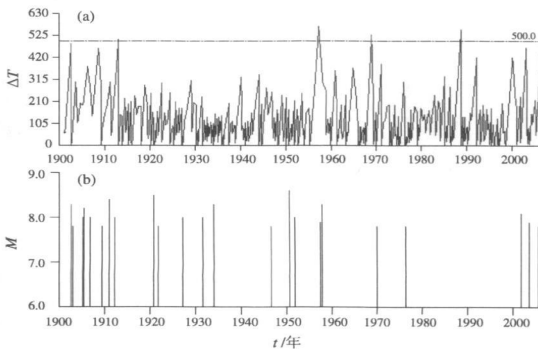


图 2 中国大陆 6 级以上浅源地震平静的时间间隔 ΔT —t 图 (a) 和中国大陆及邻区 7.8 级以上地震 M—t 图 (b)

及周边地区强震活跃期后（或后期）的平静现象和周边活跃、内部平静的现象；后 2 次显示出中国大陆西部地区长时间强震平静后的异常活跃和周边平静、内部活跃的现象，尤其以第 3 次的情况最为显著。上述现象均显示出一个共性特征，即从时间发展过程分析，一个能量强释放过程后，有一个相对平静时段；反之，一个较长时间的强震平静后，有一个能量强释放过程。由于这次超长平静是在能量强释放后出现的，因此我们分析，平静打破后马上出现能量强释放的可能性较小。

2 打破平静地震的跟踪判定

2.1 震级水平

如上所述，1900 年以来中国大陆出现的 500 天以上的 6 级以上地震平静均是由 6 级地震打破的，因此，在跟踪过程中我们一直强调，打破平静的地震为 6 级，发生 7 级以上地震的可能性较小。

除对 6 级地震平静震例进行分析外，我们还系统分析了 1950 年以来中国大陆 6 级以上地震平静期间 5 级地震的活动特点（1950 年以后中国大陆的 5 级地震目录是完整的）。1950 年以来 6 级以上地震平静超过 10 个月的震例共有 11 个，其 5 级地震活动的特点可以分为 3 种情况：

（1）6 级地震平静处于强震活动前

平静期间 5 级地震活动不平稳，呈现丛集。另一种现象是 5 级地震平静时间间隔达 150 ~ 190 天，并且 6 级地震平静打破后 5 级以上地震活动不平稳，继续保持 5 级平静或强度减小、频度增大。6 级地震平静结束到强震发生时间为 0 ~ 5 月。

（2）6 级地震平静处于强震活动后

平静期间 5 级地震活动平稳，5 级地震平静最长时间在 65 ~ 86 天。6 级地震平静打破后 5 级以上地震活动平稳，强度减小、时间拉大。6 级地震平静结束到后续强震发生超过 17 个月。

（3）6 级地震平静与强震活动无关

平静期间 5 级地震活动较为平稳，5 级地震平静最长时间为 80 多天。6 级地震平静打破后 5 级以上地震活动平稳，强度减小、频度增加。6 级地震平静结束到后续强震发生一般在 2 年以后。

从 2005 年 4 月 8 日西藏仲巴 6.5 级地震开始的 6 级以上地震平静，期间的 5 级地震活动平稳，

5 级地震丛的间隔时间稳定，最长平静时间大致在 80 天左右（图 1 b）。平静前 2 ~ 3 年中国大陆以 5.6 级地震活动为主，没有 7 级以上地震，具有“与强震无关或强震后平静”的特征。因此我们分析，这次 6 级地震平静“与强震无关”的可能性较大，打破平静地震的震级可能是 6 级。

2.2 地点判定

对发震地点的判定，我们首先采取的仍是历史震例的分析方法。从表 1 可以看到，1911 年那次震例平静开始与结束的 6 级地震相距 200 多千米，其余 3 次震例均在 1 500 km 以上。为便于进一步分析，表 2 给出 1950 年以来中国大陆 6 级以上地震平静超过 12 个月的平静时间和间隔距离。可以看到，8 次震例中，绝大部分平静开始与结束的地震距离较远，仅有 1 次震例中两个地震的距离是 380 km。因此分析认为，打破平静的地震距离平静开始的地震可能比较远，但实际情况是 2005 年西藏仲巴地震和 2007 年西藏日土地震间隔仅 473 km，与我们的分析结果不完全相符。

表 2 1950 年以来中国大陆 6 级以上地震平静超过 12 个月的平静时间和间隔距离统计

平静开始至结束时间 年—月—日 ~ 年—月—日	平静时间 /天	间隔距离 /km
1955—09—23 ~ 1957—04—14	569	1 772
1963—08—29 ~ 1964—10—22	420	2 234
1967—08—30 ~ 1969—02—12	532	2 178
1970—02—24 ~ 1971—03—23	392	2 478
1987—02—26 ~ 1988—11—05	618	380
1991—02—25 ~ 1992—07—30	521	1 567
1994—06—30 ~ 1995—07—10	375	1 293
2001—11—14 ~ 2003—02—24	466	1 259

对打破平静的 6 级地震发震地点的另一个分析方法是 对 5 级地震活动地区的跟踪分析。从图 3 可以看到，2004 年 10 月至 2006 年 1 月，中国大陆 5 级地震主要集中在喜马拉雅地震带活动，期间在集中区还发生了 2005 年 10 月 8 日巴基斯坦 7.8 级地震。2006 年 2 月后，5 级以上地震相对集中发生在青藏块体中部地区，2007 年 1 ~ 4 月发生的 2 次 5 级以上地震也位于该区域，表明地震活动的主体区域没有变化。可以推测，在这段时间内，青藏块体中部地区或第二弧形带地区仍将是中国大陆地区中强地震活动的地区。实际情况是，打破 6 级地震平静的西藏日土 6.1 级地震就发生在该地区。

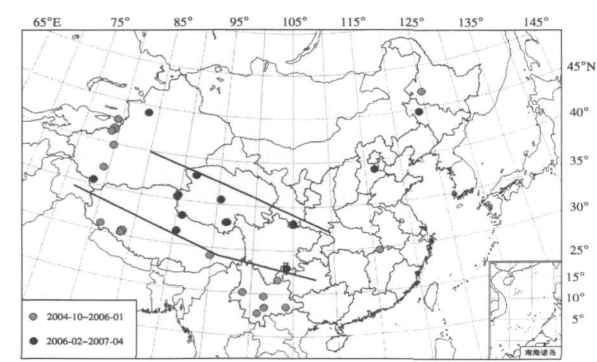


图 3 中国大陆 5 级以上地震分布

2.3 发震时间

由于这次平静的时间远超过历史震例的活动情况,我们对什么时间打破平静并没有明确的判据。不过从 2006 年下半年开始,5 级地震丛之间的间隔大致在 70 天左右,2007 年 2 月发生 2 次 5 级地震后,持续到 4 月底又出现近 70 天的平静,因此,2007 年 5 月份的跟踪分析认为,中国大陆发生 5 级以上地震的可能性较大(图 1)。5 月 5 日发生的日土 6.1 级地震就在这个时间点上,但当时并没有明确这个时间点一定会发生打破 6 级平静的地震。

3 平静打破后地震趋势的跟踪分析

3.1 短期形势跟踪

6 级地震平静打破后,中国大陆及邻区在 2007 年 5 ~ 6 月份出现中强地震连发的现象,特别是 5 月 16 日老挝 6.6 级地震发生后,云南及其邻区接连发生了 5 次 5 级以上地震,其中包括 6 月 3 日云南宁洱 6.4 级地震。中国大陆在之后一段时间内是否会发生 7 级强震是我们必须回答的问题。

依据上述分析,这次超长平静是在中国大陆及邻区大震连发背景下出现的,平静期内 5 级地震活动平稳,没有出现显著的地震活动异常图像;另外,2006 年 10 月以来中国大陆 5 级以上地震发生频次较少(图 1 a),而根据以往震例,中国大陆如果发生 7 级强震,5 级以上地震应有一个增强活动的过程。因此我们分析认为,平静打破后马上发生 7 级地震的可能性较小。

从打破 6 级地震长期平静的震例(图 4)可以看到,1955 年和 1987 年出现的 6 级地震平静先是

被高震级的地震打破,然后就是一个地震活动强度衰减的过程;而 1911 年和 1967 年的 6 级地震平静打破后,地震活动是一个震级逐渐上升的过程。此次打破 6 级平静地震的震级也不高,与后 2 个震例相似,因此分析认为,短期内中国大陆发生 7 级地震的可能性不大。

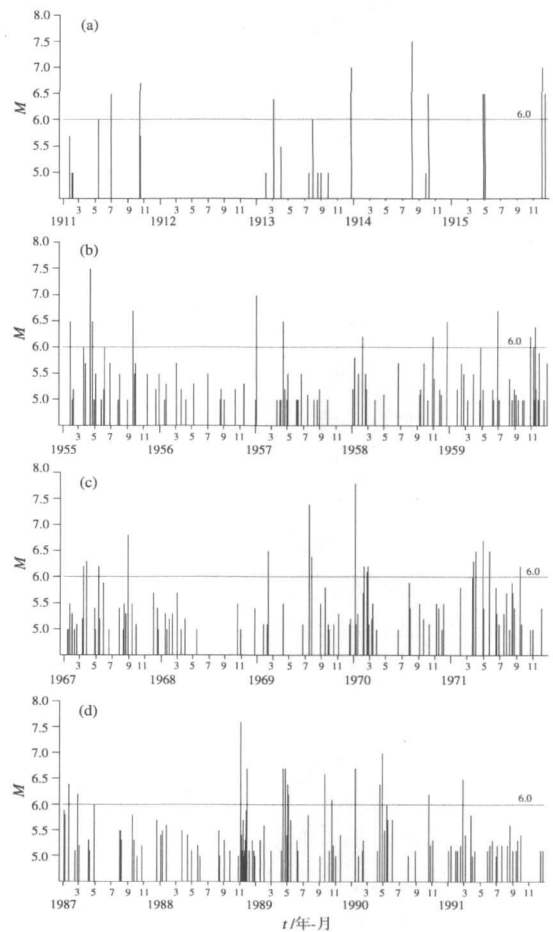


图 4 6 级地震平静期和打破平静后中国大陆 5 级以上地震 M—图

(a) 1911 ~ 1915 年; (b) 1955 ~ 1959 年
(c) 1967 ~ 1971 年; (d) 1987 ~ 1991 年

实际上,2007 年 5 月 5 日西藏日土 6.1 级地震后 3 个月内,中国大陆仅发生 2 次 6 级地震和 2 次 5 级地震。虽然打破平静后中国大陆中强地震活动水平比 6 级地震平静期内的活动水平明显上升,但与大陆平均活动水平相比还是相当或略高,不是很活跃,因此,6 级地震平静打破后,中国大陆地震活动的趋势是一种逐渐增强过程的判断是正确的。

3.2 汶川地震前中国大陆趋势分析

2007年7月20日新疆伊犁5.7级地震后,中国大陆5级以上地震再次出现172天的平静,并且2007年中国大陆仅发生6次5级以上地震。对这种打破6级长时间平静后异常低的地震活动水平,年度趋势分析认为,虽然6级平静被打破后1年内中国大陆及周边发生7级以上地震可能性较大,但这次超长平静是在中国大陆及周边地区大震连发时段后出现的,故分析其后地震活动水平并不高,即发生7.5级以上地震的可能性不大。并且,2001年昆仑山口西8.1级地震后,中国大陆一直没有发生7级以上地震,我们判断中国大陆整体地震形势是处于相对平静阶段,所以,虽然2007年5级以上地震频度较低,不排除2008年发生7级地震的可能,但认为发生7.5级以上地震的可能性不大。

我们在2008年趋势跟踪预测过程中指出:6级地震平静打破后,先是发生了2007年5月日土6.1级地震和6月宁洱6.4级地震,半年后又发生了2008年1月改则6.9级和3月于田7.3级地震,震级上升趋势明显。1911年和1967年的平静打破后经历了3个阶段才到达最高震级,而此次平静打破后目前只经历了2个阶段,震级水平应该还有上升的可能。由于前2次上升的时间间隔基本一致,因此,目前即使有第3个阶段,估计也是在2008年年底或2009年年初。由于第2阶段的活动水平已达7.3级,再考虑到年度趋势分析的意见,震级水平进行了调整,估计可能会达到7.5级左右。

出于上述考虑,当时既没有预测到会发生8级地震,对时间的估计也比较靠后。

4 结论和讨论

总体上,在对打破2005~2007年中国大陆6级地震超长平静现象的跟踪分析工作中,对震级和地点的判定相对比较明确,但在时间把握上较弱。

对平静打破后地震趋势的跟踪分析有失误。2001年昆仑山口西8.1级地震后中国大陆一直没有7级以上地震,而中国大陆周边接连发生多次大震,由大形势判定2001年后中国大陆强震活动处于相对平静时段,因此,即使出现了历史上最长的6级地震平静,也被认为是平静向活跃的过渡阶

段,认为地震活动有一个逐渐增强的过程,估计到2008年可能会发生7级左右地震,但没预测到会发生8级大震。认为这次超长平静是在中国大陆及周边大震连发背景下出现的一种调整现象而不是大震前的活动图像,是未能预测到汶川8级地震的原因。

目前,地震形势的跟踪判定主要依靠对同类现象的历史震例的总结与分析,但这次出现这么长的平静是非常罕见的。虽然历史震例的统计分析仍是我们做判定的主要手段,但在分析过程中考虑各种现象的物理背景是非常重要的,而且在做结论的过程中适当提高一些预测水平也是必须的,毕竟这几年来地震活动水平太低了。2008年3月于田7.3级地震发生后,我们在形势跟踪判定过程中也曾考虑到活动水平会进一步升级,有发生7.5级左右地震的可能性,但是即使是这种考虑,也是作为6级平静打破后的第3个阶段的最高活动强度,时间尺度至少距于田7.3级地震要半年以上,但间隔1个多月就发生了汶川8级地震。

所有的震例不可能完全一致,在震情跟踪判定过程中,找寻每个震例自身的活动特点,并在预测过程中应用是非常关键的。在这次跟踪过程中,6级平静打破前5级地震从70天左右的时间间隔,对预测打破平静的6级地震的发生时间有一定价值;而2008年改则6.9级地震、于田7.3级地震发生后中国大陆其它地区中强地震活动不强,尤其是无6级地震发生的现象,对其后发生的强震有一定指示意义。

总之,对这次6级地震超长平静的认识是比较明确的,打破平静后地震活动增强的认识也是明确的,但由于大形势判定的失误,造成对打破平静后发生强震的紧迫程度估计不足。实际上,2001年以来中国大陆及周边的强震连发,也可以作为该地区处于地震活跃阶段的标志,但2004、2005年印尼特大地震的发生对中国大陆造成卸载作用的认识影响了上述判定。如果将这次超长平静定位在强震活跃时段中的平静,那么对其后的地震趋势估计将是另外一种状态,因此,大形势判定对地震趋势的跟踪判定是非常重要的。

另一方面,2001年昆仑山口西8.1级地震后中国大陆连续6年半无7级地震发生,6级地震又是如此平静,5级地震也处于较低活动水平。如何判定

中国大陆处于强震活跃阶段, 靠目前的历史地震统计分析方法是无能为力的, 而其它替代方法 (如观测手段、物理参数) 是未来的研究方向, 目前还无法直接用于地震大形势判定。因此, 必须承认和接受目前统计预报结果的局限性和由此带来的预测错误, 并在实际预测工作中有清醒的认识。

参考文献:

地震预报管理条例释义编写组. 1999. 地震预报管理条例释义

[M]. 北京: 地震出版社.

郭铁栓, 陈荣华, 王惠敏, 等. 2006. 地震活动性异常与 2007 年度地震趋势研究 [Q] //中国地震台网中心. 中国地震趋势预测研究 (2007 年度). 北京: 地震出版社: 120—154.

中国地震台网中心. 2006. 2007 ~ 2009 年我国地震大形势研究报告 [Q] //中国地震台网中心. 中国地震趋势预测研究 (2007 年度). 北京: 地震出版社: 76—119.

中国地震台网中心. 2007. 2008 年度我国地震趋势报告 [Q] //中国地震台网中心. 中国地震趋势预测研究 (2008 年度). 北京: 地震出版社: 9—40.

Follow-up Forecast Study on the Exceeding Long Quiet of the Earthquake with $M \geq 6$ in China Mainland during 2005-2007

LU Jiè, GUO Tie shuan, YANG Liming, SU You jia, LU GuiPing

(1. China Earthquake Networks Center, CEA, Beijing 100036, China)

(2. Earthquake Administration of Gansu Province, Lanzhou 730000, Gansu, China)

(3. Earthquake Administration of Yunnan Province, Kunming 650224, Yunnan, China)

(4. Department of Monitoring and Prediction, CEA, Beijing 100036, China)

Abstract

The three-year follow-up forecast process is summed up based on the introduction to the background and characteristics of the exceeding long quiet of the $M \geq 6$ earthquake in China Mainland during 2005-2007. The problems and misplays are discussed on the follow-up estimation of earthquake tendency.

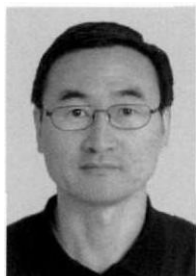
Key words: earthquake quiet; earthquake tendency; follow-up forecast; China Mainland



刘杰 中国地震局台网中心研究员。1986年毕业于北京大学地球物理系，获学士学位；1989年毕业于北京大学地球物理系，获硕士学位；1998年毕业于中国地震局地球物理研究所，获博士学位。目前从事地震预报和地震活动研究。



王海涛 新疆地震局研究员，中国地震局地震预测研究所兰州科技创新基地客座研究员。1982年毕业于云南大学地球物理系，获学士学位；1999年毕业于中国地震局地球物理研究所，获地震学专业博士学位。中国地震学会理事，新疆地震学会理事长。主要从事地震综合预报研究。



许建东 中国地震局地质研究所研究员。1983年毕业于北京大学地质系，获学士学位；1998年获美国纽约州立大学布法罗分校地质系博士学位。现为中国地震学会终身会员，美国地质学会（GSA）会员，联合国灾害评估与协调委员会（UNDAC）。目前的主要研究领域为火山地质、火山灾害、地震应急与救援。



刘耀炜 中国地震局地壳应力研究所研究员。1982年毕业于中国地质大学（武汉）地震地质专业。主要从事地下流体与强震前兆机理、地下流体观测技术与地震预测方法等研究。中国地震局科技委委员，中国地震局地下流体学科技术协调组组长，中国地震学会地震流体专业委员会主任。



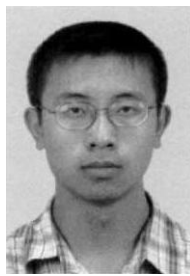
苏有锦 云南省地震局研究员。1986年毕业于云南大学地球物理系，获学士学位；1991年毕业于中国科学技术大学固体地球物理专业，获硕士学位。主要从事地震学和地震预测预报研究。



吴小平 云南大学资源环境与地球科学学院教授。1982年毕业于云南大学地球物理系，获学士学位；1988年毕业于中国科学技术大学地球与空间科学系，获硕士学位；2000年毕业于中国科学院云南天文台，获博士学位。主要从事地震学、岩石力学、重力学与固体潮、地球动力学的教学与科研工作。



崔庆谷 云南省地震局高级工程师，2002年毕业于中国地震局地球物理研究所，获博士学位。主要从事地震及前兆观测技术研究工作。



周青云 中国地震局地震预测研究所读硕士研究生。2008年毕业于北京大学地球物理专业，获学士学位。主要从事震源过程、地震定位及地震活动性分析研究。

注：皇甫岗、秦嘉政、付虹、钱晓东、张建国、崔建文、毛先进、杨润海、毛玉平等人的个人简介已分别刊登在本刊的 Vol30 No3, Vol28 No4, Vol30 No1, Vol29 No1, Vol29 supp, Vol29 No4, Vol31, No2, Vol29 No4, Vol30 No3.