

南北地震带北段中强地震综合预报 问题的初步研究*

李海华 张文冕 吴德珍 姚庆春

(国家地震局兰州地震研究所)

摘 要

本文分析了南北带北段为主体的陕甘宁青地区近十年来的65个中强地震的前兆资料,以及中强震的特点和预报的难点。初步提出了综合预报对策、方法、程序和指标,并对它们的意义进行了阐述与讨论。

一、对现阶段监测预报中强地震能力的评价

陕甘宁青地区自1954年开始(主要是1958年后)布设地震台网,自1970年开始(主要是1974年后)布设前兆观测台网^[1]。到1980年底,陕甘宁青地区已有地震台64个、地电台30个、地磁台19个、水氡16个、形变台(倾斜、水准、三角等)24个、重力台3个、地应力台7个。此外,还有面上大地测量的多期结果、电磁测深的多点观测结果以及近年来开始的流动重力观测结果等。在选取资料时,我们主要考虑下列原则:(1)仪器工作正常,资料可靠。(2)资料较连续平稳或背景变化(如年变、日变、干扰因素等)比较清楚,异常容易识别。(3)物理上有一定的合理性,“暂时”还找不到“异常”的非地震因素。

根据这三条原则,从1970年以来(主要是1974年来)到1980年7月止,在东经100—108度、北纬32—41度范围内共选取各类前兆图569张(按一种手段一年一张计)。其中主要前兆手段是地磁、水氡、地电、地形变、重力和部分地下水动态资料。

在上述时空范围内发生4.0—6.3级地震65个(不包括1976年松潘大震和巴音木仁等地震的余震以及同日发生的地震),如图1所示。其中有38个中强震在选取的569张资料中对应的“前兆”事件总计约187件。就平均情况而言,每个中强震仅有2种手段和5个“前兆”或“异常”事件。这在某种程度上反映了目前监视预报中强地震能力的基本状况,并决定了中强地震的预报是相当困难的。

*参加部分工作的有冯学才、刘百篪、吴建华、谢凤兰等同志。

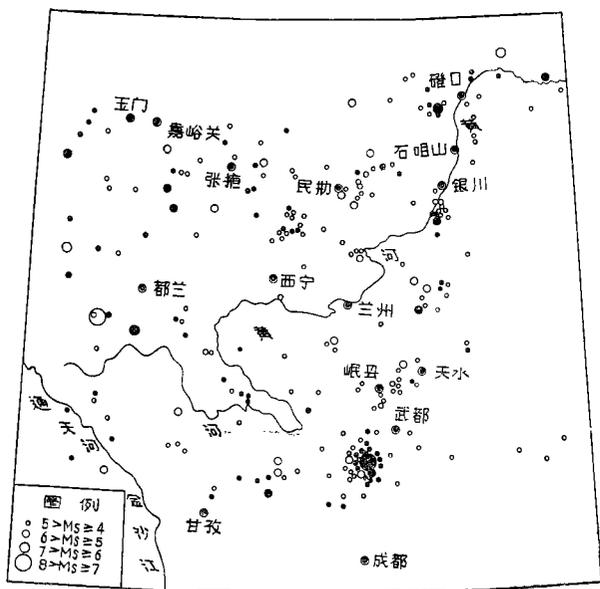


图1 1958—1980年陕甘宁青地区震中分布图

(注: 黑点表示70年后地震)

既然中长期预报方法和短临预报方法各有所长, 我们的对策就是尽可能发挥现有各种方法的优势, 扬长避短。即把能够圈定危险区的方法集中考虑, 在综合分析的基础上, 尽可能把危险区圈定得小一些, 少一些。把能够估计发震时间的方法进行综合, 尽可能把危险时间估计得短一些, 特别是在日期上具体一些。在步骤上, 首先进行大形势分析。我们把一个地区特大地震(如八级大震)在地震活动中的主导作用, 该地区地震活动与更大范围和更长时期的地震大背景相联系, 以及考察空间环境诸因子等几个方面结合起来, 以反映该地区地震活动总体性的东西称为“震势场”(详见文献*)。弄清楚震势场有助于推断本地区地震活动的水平和趋势, 圈定危险地区和最大震级。其次, 在年度地震会商中, 依据各种带有时间性的圈定危险区的指标综合确定少数重点监视区。在一定阶段内, 重点监视区有相对稳定性, 以便有重点地加强短临观测手段。当前兆异常群符合短临指标的情况出现时, 首先考虑的地区就是少数重点监视区, 并根据短临前兆的分布等具体情况进一步制定最可能的危险地点。

还要特别指出的是应该注意识别“无震异常”的问题, 限于篇幅, 这将另文讨论。

三、地震综合预报方法及指标的选取

(一) 圈定危险区方法

1. 多因子综合叠加法 按因子所含的时间信息有如下次序: 大地貌或重力异常背景区; 流动测量的异常显示区; 地震活动性指标显示区; 前兆异常相对集中区。这些都是近年来中长期预报中常用的方法, 不过一般是作为彼此独立平行的方法来考虑。而我们认为这四个方

应该指出, 上述56个中强震大多数发生在地震前兆台网稀少的地区, 这属于现阶段无法预报的地震。而发生在台网密度较大地区的一些中强震, 在震前均有不同程度的觉察或预报, 这暂且称之为有可能预报的地震。对这类地震的预报能力, 根据多年来的实践可概括为下述两点: (1) 中长期预报方法在圈定危险地区, 短临预报方法在估计发震时间方面有一定的能力。(2) 中长期预报方法在预报时间方面能力较差, 时效太长, 短临预报方法在预报地点方面能力较差, 有盲目性。

二、预报中强地震的对策

当前, 在现有条件下提高预报能力是很迫切的问题。前已述及,

*1李海华等: “震势场”的综合分析与甘肃地区地震趋势, 1980, 待发表。

面只是应力场和应变场在不同时间和空间尺度某种变动的显示，因而具有内在的统一性，把它们依次叠加起来综合圈定危险区是合理的。

2. 震势场综合分析法 按震势场观点，一个地区在发生八级特大地震前后的特征时间尺度内形成八级特大地震的应力场在“5度弧圈”的特征空间尺度内对强震起主导作用。据此，可以圈定一些危险地段。另一方面，按震势场观点，中强地震活动受大形势的支配和控制。它们在强震高潮中的依附性和相对平静期中的调整性是迥然不同的。由于应力场在一定时期具有相对稳定性，中强震的分布图象也表现出一定的稳定性，即中强震的发生有一定程度的局地重演性。从近年来中强震分布可见，除了在松潘、唐山、盐源等“老震区”外，在罗布泊—茫崖地区、祁连山地区、巴音木仁—五原地区、库车地区、普洱地区等，中强震多次发生。同时中强震的分布还显示出较规则的几组平行条带，如溧阳—五原、秭归—肃北、道孚—玉树、喜马拉雅等地震带及其延长线显示出中强震在北西向条带的某种优势。总之，在确定地震危险区中，震势场综合分析法是一种有希望的方法。

(二) 估计发震时间的方法

1. 趋势性异常与渐进式预报方法 在我们总结的65个中强地震和569张前兆资料中，仅在20个中强震之前共有50例短临趋势性异常。可见，中强震前的趋势性异常是很少的。按手段来看，出现的数量依次为地电、地形变和水氡。这三项手段的短趋势异常又占半数以上。因此我们主要从这三项手段中提取渐进式预报的经验性指标。所谓渐进式预报方法，就是根据异常的形态和持续时间，得出经验性的关系式来预报地震的发震时间。参照其它地区中强震的总结*，对中强震的趋势性异常可初步归纳如下几点：(1) 异常数量占“少数”。(2) 异常持续时间短，仅几天到几十天，几乎没有长趋势异常。(3) 异常幅度较小，震前不易识别，很多是震后总结出来的。(4) 异常种类少，但有一定的同步性。

这些特点在今后预报实践中是应充分注意的，不能以多数来否定少数，特别要注意不同异常的同步性。此外，应大力加强地倾斜、水氡和水动态等具有连续记录能力的手段观测，以发挥它们在短临预报中的作用。

2. 突发性异常与跨越式预报方法 自1975年海城大震以来，突发性前兆愈来愈受到国内外地震预报工作者的重视。其特征是：(1) 出现的时间临近地震。(2) 突变幅度大，易于在震前识别。(3) 出现次数多，其间隔时间有一定的韵律性。(4) 异常种类多，且同步性较好。总之，这类异常具有短临性、突发性、同步性和韵律性。根据我国一些大震总结，出现这类异常主要有地下水(水氡、水位、水质、水温等)，地电、地磁、地形变、地光(电磁波)、地声、地气(雾、霾)、大气电位(近地层大气物理)等一大批宏、微观现象。

我们认为，突发性异常可能与应变场的突然变动有关。据文献〔2〕研究，断层预滑或断层蠕动等不稳定过程还可能接受外因的作用，如磁暴、大气压力和固体潮等外因在地壳应变处于某种不稳定状态时，可以触发断层的蠕动并对其产生某种调制作用。在我们总结的187例“异常”事件中，就有将近120例突发性异常事件，约占三分之二。可见它比趋势性异常占的比重大些。由图2可见，在30例地震前60天内，突发性异常累计次数似有倍九日期的

* 胡长和等，华北地区中强地震短临标志的初步探讨，1980。

内蒙地震局，内蒙地区中强地震孕育的某些震兆特征，1980。

丁鉴海等，中强地震的前兆特征及其预报中存在的问题，1980。

韵律性，即在0天（地震当天）、9天、18天、27天等附近为峰值，而以10天之内频次最高。

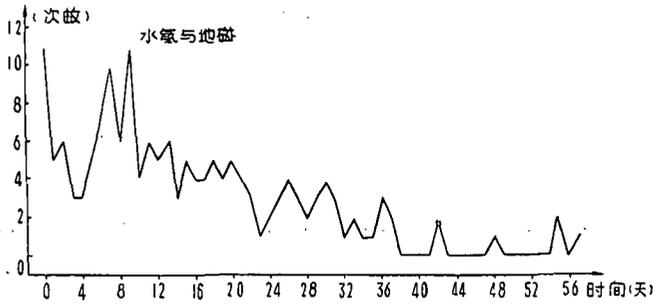


图2 中强震前实发性异常频次随时间的分布(30例中强震)

所谓跨越式预报方法，主要是根据突发性异常的韵律性及其同步合拍的外因，按“倍”法跨越一段时间来预报发震时间，有些爆发性异常带有短时间连续性，或趋势性异常的明显转折点等情况也可用“倍”法进行跨越式预报。总之，跨越式预报的显著特点是预报日期比较具体，在地震预报的多年实践中有一定的成效，其物理依据正在积极研究之中。

3.其它指标 (1)地磁“特征线斜率”K值是甘宁地区中强震的一个较适用的短期(1—2个月)预报指标。文献〔3〕给出其预报地震的准确率、有效率和可靠率均达68%左右。

(2)中强震的同步起伏现象在近年来颇引人注意。图3是1977—1980年我国大陆地区5级以上地震与同期西北地区(E: 100—108°, N: 32—41°)4级以上地震的M—t图。由图可见，地震疏密不均，活跃与平静相间。这可能反映了我国大陆地区应力调整场的一种时间尺度较小的起伏。而西北地区中强震发生前后短时期(不到1个月)内都伴有其它地区5级以上地震的发生。例如，近年来发生在人口稠密而造成轻微破坏的三个地震与全国其它地区5级以上地震的呼应情况是1978年8月16日民乐5.0级—7月13日四川黑水5.4级；7月31日西藏多本拉5.6级；8月31日云南宁蒗5.4级；1979年7月25日礼县5.0级—6月19日山西介休5.1级；7月9日溧阳6.0级；7月31日五原4.4级；8月25日五原6.0级；1980年5月24日陇县4.4级—6月4日西藏申札5.5级；6月18日云南蒙自5.5级；6月24日西藏朋瓦洛特山6.1级等等。

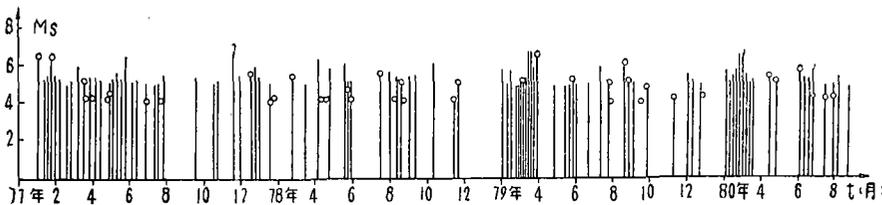


图3 全国大陆地区中强地震M—t图

(o. 为甘肃地区中强地震)

中强震的这种同步起伏现象，在日常震情监视中往往起着“示警”作用。进一步研究这种现象有可能提取含有时间信息的预报指标。顺便指出，我国不同地区发生的强震及其强余

震之间也有这种遥相呼应的现象。

(三) 震级的考虑

在地震三要素的预报中，震级是最粗的。在我们总结的6种手段，38例中强震的187次“前兆”事件中，多数是突发性异常。它们的异常幅度，出现时间以及展布范围与震级大小无明显关系，从趋势性异常中也还难以找出某种定量的关系，这可能是由于：一方面5级以上震例太少，绝大多数是4—5级地震。另一方面我们确定“前兆”事件时并没有人为地从靠近震中附近的台站去选取，只要在震中距三百公里甚至更远的地方在震前几个月内出现可靠的异常都在选取之列。图4是部分震例（近20例）的“前兆”事件的空间分布。由图可见，对4—6.3级中强地震而言，半径为三百公里甚至更远的大范围都是其“前兆”事件的有效空间，这比震源尺度大得多。

目前，还没有较好的方法从前兆中来定量预报中强震震级。我们主要基于震势场的综合分析来粗略估计一个地区在某时期内发生地震的最大可能震级。例如现阶段海原、古浪地区最高活动水平不会超过六级。

综合上述，我们讨论了中强震三要素的分别综合预报方法及有关指标。据此，不仅可以在年度会商中应用于圈定危险区，而且能在短临预报中发挥其一定的效能。亦即本文提出的预报中强地震的对策，它是在目前条件下提高预报能力的一种尝试。下面列举两个震例来进一步阐明之。

1970年12月3日西吉5.5级地震和1979年7月25日礼县5.0级地震是七十年代发生在宁夏、甘肃较密集台网内最重要的两起事件。

西吉地震位于1920年海原大震极震区内，礼县地震位于西和一礼县盆地边缘。根据地震地质、形变、电磁测深、地震活动性等背景性资料分析，这两个地区都是发生中强以上地震的危险区。因之近十年来，在陕甘宁青四省区会商会上，被长期列为重点监视区。该区背景性资料不能给出发震的危险时间，而这两次地震前，曾出现过数量虽然不多，但异常比较明显的前兆现象。甚至还曾作出过不同程度的短临时间预报。由于异常范围达几百公里，致使根据短临前兆手段很难估计地点。这种情况完全符合前面所述的对现阶段预报能力的两点概括。

下面再来审视一下，利用本文所述的方法对这两次地震能预报到什么程度。

由文献〔4、5〕给出的资料来看，西吉地震前，出现含有地点信息的异常现象主要有：
（1）地震活动性指标显示 震前一年多的时间内，4级左右地震沿NWW和NEE两个方向定向迁移并交汇于震中附近。（2）流动测量的异常显示 位于震中南面30公里的静宁界石铺水准在8月和11月两次测量中出现上升幅值达11毫米的异常（正常速率为3毫米/年）。

地震前含有时间因子的现象主要有：兰州地磁台特征线斜率于11月出现异常。震前8天，距震中200公里的岷县地倾斜出现突发性异常，一天内变化达0.23角秒，其方向由原来近南

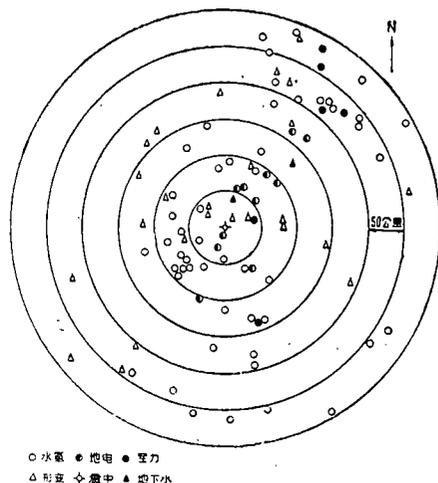


图4 部分中强震前异常事件空间分布图

北方向突然转为北东,指向震中。11月初,天水地电和水氡发生明显转折,重力出现异常,南北带北段大面积弱震活动出现峰值。最早的异常从10月16日开始,同日发生K指数为7的磁爆。11月8日四川壤塘5.5级地震(7—8日又发生磁爆),11月16日新疆昭苏5.4级等地震的发生形成短时期的大范围中强震活动相对高潮,如图5所示。配合前述前兆资料,可对估计时间起示警作用。

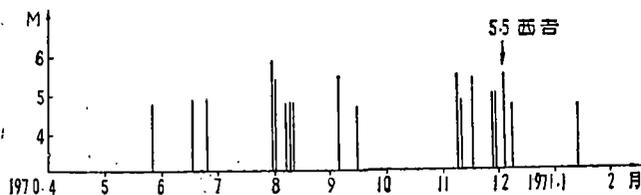


图5 我国大陆地区 $4\frac{3}{4}$ 级以上地震 $M-t$ 图
(1970.4—1971.2)

由上述突发性异常,趋势性异常转折标志及磁爆等因子应用倍九法可推算发震日期为12月4日左右。与实际发震日期相差一天。

关于礼县地震,已由文献[6]所总结。这次地震前,水氡、地电、倾斜、形变等一批前兆异常按倍九同步起伏较好,同时大范围中强震同步起伏有示警显示,地磁特征线斜

率指标也出现了等等。实际上在这次地震前的例行会商中,已用倍九法具体指出7月25—27日可能发生中强震,但没有预报具体地点。若按本文提出的预报对策,在地点上应用前面提出的两类方法,充分重视确定这两个地区为“重点监视区”的各种背景性依据和新的异常显示,在时间上应用三类指标,主要是跨越式方法估计具体日期,震级上考虑到西海固地区和礼县盆地现阶段处于弱震势场,不致于发生6级以上地震。那么,较好地作出这两次地震的预报不是没有可能的。还应强调指出,这两次地震的震中区附近群测队伍还观测到一些很有意义的临震宏观异常现象,这就更增加了预报的可能性。

四、对策合理性的讨论

通常在选取预报指标时,都是同时考虑时空强三要素,而不象本文那样,把空间指标和时间指标分别考虑。这是因为通常把前兆现象认为是由震源产生的,因之前兆本身就自然带有时空强三要素的信息。我们姑且称之为“点源”论,目前流行的大多数前兆理论都是“点源”论,在此我们提出两点质疑:

1. 按“点源”观点,单项手段应能反映孕育地震的全过程。但事实表明,长中短临在单项手段中很难配套,往往是长中与短临分属不同的前兆手段,而对中强地震来说,甚至短期与临震都是分属于不同的前兆手段。

2. 按“点源”观点,前兆与震源属于一种强联系,前兆的展布范围应与震源尺度同数量级。但事实上前兆的展布范围往往比震源尺度大1~2个数量级,对中强地震来说尤其是如此,这是很难理解的。况且无震异常和无异常的地震事件屡见不鲜,这似乎表明,对中强震而言,前兆与震源不是强联系,而是弱联系。

考察我们现在预报地震的各种指标或方法,大多数与其说直接反映了震源的信息,不如说反映了应力场和应变场的某种变动,对震源尺度很小的中强震而言,尤其是如此。

其实，从中强震在构造运动中的地位来看，中强地震和小震一样，不是释放应变能的主角（全球每年平均约近百次6.9级以上地震释放大约90%以上的总能量〔7〕），而是应力场调整的一种局部显示而已。例如围绕一个大震的地方，发生的中强震有明显的依附性，反映了应力场在大震前的强化过程和大震后的弱化过程。至于在相对平静期应力场很弱，但随着邻近地区强应力场的起伏也会引起弱应力场的波动，这由小震活动而表现出来，近十年来甘肃地区小震活动频次曲线已明显反映了这一点*。还有前面叙述的两个现象，即中强震发震地点具有相对稳定性和不同地区的中强震具有同步起伏性，也是“场”的一种表征，而不是“点”的偶合。

由断层蠕动的连续滑动和不稳定滑动反映了应力场的连续变动和不稳定变动，前兆的连续变动（趋势性异常）和突然变动（突发性异常）也可能反映了应力场（应变场）的变动，它们两者不过是同源异象，都是应力场（应变场）所直接引起的。换言之，前兆只不过是应力场（应变场）某种变动的显示，而不是中强震的震源直接发出的信息，这可以称之为“场源”观点。对于大震而言，由于形成大震的震源尺度及震源应力场很大，因之“点源”和“场源”具有同一性。

我们认为，虽然应力场的直接测定还不过关或还不能普遍测定，但由应力场变动引起的应变场以及由它们二者引起的地下化学物理场、倾斜场、形变场、地电场、中小地震活动性参数场等组合而成的“前兆场”是可以被认识的。

总之，我们认为，由于中强震具有小震性的一面，因此，对付中强震不能完全采取对付大震的办法，亦即不能仅从“点源”观点去处理，而要更多地从“场源”观点去把握。把中强震的地位看成和小震一样，是应力场或构造运动的一种反映。在不同震势场的条件下，应力场表现出某些区域相对集中的稳定性、平均强度的稳定性及大范围的同步起伏性等性质。以上就是我们预报中强震的对策的出发点。

由此可见，我们的对策并非权宜之计，而是把握和预报中强震的一条合理的途径。今后关键问题是要弄清楚应力调整场的动态过程及其与前兆场的关系。亦即通过前兆场（包括中小地震的活动性）去认识和把握应力调整场。相对于地震预报中对震源的微观过程研究而言，我们的研究方向可称之为地震宏观条件的研究。

（本文1981年4月17日收到）

参 考 文 献

- 〔1〕西北地震三十年，西北地震学报，Vol. 1, No. 3, 1979.
- 〔2〕郭增建，秦保燕，论短临地震预报的调制模式，西北地震学报，Vol. 2, No. 1, 1980.
- 〔3〕吴德珍，地磁“特征线”法在地震短期预报中的应用，西北地震学报，Vol. 2, No. 3, 1980.
- 〔4〕宁夏地震队，兰州地震大队，1970年12月3日西吉地震总结，1971.
- 〔5〕陕甘宁青地震前兆经验交流会议资料选编，1971.

* 张诚，甘肃地区地震活动特征，西北地震学报，待发表。

[6] 1979年7月25日甘肃礼县地震前兆初步总结, 西北地震学报, Vol. 2, No. 1, 1980.

[7] M. 伯特, 地震学引论, 地震出版社(中译本), 1978.

A STUDY ON SYNTHETIC PREDICTING PROBLEM OF THE INTERMEDIATE MAGNITUDE EARTHQUAKES AT THE NORTHERN PORTION OF THE NORTH-SOUTH EARTHQUAKE BELT IN CHINA

Li Hai-hua

Zhang Wen-mian

Wu De-zhen

Yao Qin-chun

(The Seismological Institute of Lanzhou, State Seismological Bureau.)

Analyses

Abstract

moderately long

In ~~this paper~~, the data of the precursor of 65 ~~intermediate-magnitude~~ earthquakes are analysed, which almost occurred at the northern portion of the North-South ~~earthquake~~ ^{seismic} belt.

of the earthquakes

We have also analysed ~~their~~ characteristics and difficulties for the prediction. The countermeasure, method, procedure, and index of the synthetic prediction are preliminarily proposed. ^{and} The practical and theoretical meaning ^{on them} are also described and discussed.