

中国大震临震突变异常总体特征和临震预报指标的研究

张文冕 田少柏 吴建华

(国家地震局兰州地震研究所)

摘 要

本文对我国1969年以来所发生11次大震的各种前兆临震突变异常和趋势性背景异常做了统计分析,并对大震前突发性异常的总体特征、临震突变项次随时间(突变日距发震日的间隔天数)分布规律、临震异常综合判断方法等几个问题进行了讨论,深入探讨了大震的临震预报综合指标和有效性时间预报。

前 言

近年来,国内外地震工作者已论证了地震前兆异常的客观存在,提出了各种手段异常的判别方法,并在强震危险区预测方面有新的进展^{[1-6].1)}。地震预报最重要的是短临预报,尤其是临震预报,因为它能真正取得预防实效,最大限度地减少生命财产的损失。令人遗憾的是,对大地震的临震前兆的总体特征深入研究不够。我国综合预报实用化攻关¹⁾结果表明,伴随地震的孕育、发生将产生多方面的异常现象,而在时间分布上显示出阶段性特征,大体上可区分为半年至数年的趋势性变化和几天至几十天的快速或突发性异常。大地震有长、中、短趋势异常背景,这是大震与5—6级地震前兆的基本区别。本文侧重研究大震前临震突发性异常总体特征,试图探索大震临震预报指标。

多种理论研究都给出:孕震过程由弹性变形(应变能积累的长期阶段)→非弹性变形(微破裂发育、发展、裂隙相互作用的中期阶段)→破裂加速阶段(短临阶段)。由于震源体内岩石有效强度显著降低,破裂扩散加速,断层加速蠕动,观测点应力状态发生剧烈变化¹⁾^[7、23],并由此产生高频振动、电离辐射、地下压力与温度、岩石孔隙度和渗透压等物理、化学过程的剧烈变化。从而引起地形变、测震、水化学(水氡)、地下水、地电、电磁波、地应力、地磁、大地电位、固体潮汐、重力、大气压与气温、宏观现象等一系列临震突发性异常^[7-21]。从“突变论”观点来看,地震发生的根本原因是由于结构的不稳定性。即地震是断层演化系统自组织的一种表现,是断层演化系统经过临界点的分歧、突变行为。

1) 地震综合预报实用化研究学术领导小组,地震综合预报实用化研究一级课题总报告,1989。

这是本文研究的物理基础。

实际震例所提供的大量前兆现象及其综合特性是本文研究地震综合预报的实践基础。

大震前临震突发性异常总体性质研究

在研究大地震多种前兆临震异常的总体性质时，人们首先要了解各单项前兆的可信度，即各单项手段地震异常的判别方法、对应地震的能力及突变距发震的时间概率，其结果列于表1。

表1 各单项前兆对应地震概率及异常判别方法

监测项目	反应地震的概率*	突变异常判别方法
应力应变	平均反应地震概率60%	大于背景噪声的(2—8)倍均方差
水化学	总体应震能力37% 临震应震能力32%；突变异常在30天内发展概率64%	因泉井而异，一般以大于2—3倍标准差或日变化幅度大于15%视为异常
水位	理想的单井应震能力55% 多井应震能力32% 在12.7天内发展概率30%	突变上升或下降超过年变幅度2倍，日变大于2.5倍标准差，因井而异
倾斜	r值异常对应地震概率39% 45天内发展概率33.8%	大于2倍中误差，拐弯、打结、阶变、潮汐曲线畸变与振幅变化等
地电	反应地震概率未确定；出现临震指标后15天左右发展	大于8倍标准差；电阻率每十天1%以上速率同向加速变化或转折、回反等
重力	预报五级以上地震的能力为54%；在20多天内可能发展的概率30%左右。	零深变化应大于正常零深值的30%，潮汐因子值的趋势变化应大于5%，功率谱比正常大3倍以上
地磁	低点位移方法对应6级以上地震；异常对应地震概率55%，在45天内可能发展概率30%	差值 ΔZi 超过 $\pm 3.0nT$ ；低点位移的低点时间之差超过2小时；日变形态应出现日变幅度拉平或低点反向
形变	对应地震概率未确认；若观测到前兆性蠕滑，一般在几天——几周内有可能发展的可能。	大于观测值中误差2—3倍

*5.0级以上地震

总体而言各单项前兆监测预报能力是很低的。以水氡为例，列于表2。

表2 中国大陆5.0级以上地震水氡地震异常、无震异常、有震无异常统计表

地区	震例次数	有震有异常次数	有震无异常次数	无震异常次数
河北省(含京、津、唐、辽东)	18	13	5	15
甘肃省(含宁夏、青海邻区)	22	18	4	8
四川、云南	54	25	29	19
广东、江西	8	3	/	13
江苏及邻区	4	2	2	8
新疆	6	5	1	1
中国大陆总体统计结果	107	66	41	59

从表2可见，无震异常（其中包括无法排除的干扰性异常）与有震无异常是普遍存在的，即异常与地震关系的不确定性；另一方面表现为异常形态的多样性，空间分布不均匀性以及异常时间进程的起伏性，这就是地震前兆的复杂性。因而要想根据单项前兆个别异常去预报地震是非常困难的。作者曾企图以单项前兆、零散的异常去研究不同地区的震例，探索地震预报的指标，其结果是重现性较差。这是因为岩石物理性质与构造的非均匀性，震源应力场和区域应力场的不同作用，使地球表面所反映的各种效应也是不同的。

本文致力于统计分析多种前兆在趋势异常背景条件下的临震突变异常，注重研究在空间上集中、时间上同步的“群体”性质，以区别于单项前兆的“个体”零散性质。作者充分利用最新资料*，首次全面系统地列出中国大陆自1969年以来所发生11次大震临震突变异常总体性质统计表（表略 因篇幅所限）

这11次大地震是：1976年7月28日唐山7.8级地震，1973年2月16日炉霍7.9级地震，1976年5月29日龙陵7.4级地震，1969年7月18日渤海7.4级地震，1976年8月16日（23日）松潘7.2（7.2）级地震，1975年2月4日海城7.4级地震，1974年5月11日永善7.1级地震，1988年11月6日澜沧（耿马）7.6（7.2）级地震，1985年8月27日乌恰7.4级地震，1981年1月24日道孚6.9级地震，1990年4月26日共和6.9级地震*等。

综合分析各次大地震前多种前兆临震突变异常的时空强分布特征和趋势性背景变化，特别是临震突变距发展天数、临震突变数量和频次、临震突变同步性、组合性等规律，现将总体特征分述如下：

（1）各种前兆有临震突变占11次大震的百分比是：倾斜91%、形变64%、水氡82%、气压82%、地磁82%、水位82%、测震64%、重力55%、地电64%、应力55%。其中各次大震前多点突变异常的项目是倾斜、地磁、形变、气压、水氡、应力、水位，次之是地电、重力等（当然，这也与台网的分布和密度有关）。以唐山和松潘两个大震为例，计算临震突变项目（或测点）占总项目（或总测点）的百分数列于表3。

表3 唐山与松潘大震前观测点出现临震异常的百分比统计

震中距	0—100km				100—200km				200—300km			
	异常 点数	百分比	异常 项目	百分比	异常 点数	百分比	异常 项目	百分比	异常 点数	百分比	异常 项目	百分比
唐山大震	26	48%	8	89%	17	28%	7	88%	12	33%	6	86%
松潘大震	8	50%	7	58%	19	63%	8	80%	17	42%	7	63%

（2）临震突变时间基本同步：各项突变起始时间差一般不超过30天。断层蠕动和破裂的模拟实验证实了由于主破裂前偶发性前兆蠕动，测点应力状态发生剧烈变化〔7〕。肖尔茨提出断层蠕动可能是一次临震的警报〔9〕。本文正是研究临震突发性异常，而不是中短期的大幅度加速、转折或恢复的异常，因此，真正的临震突变时间是基本同步的，而有别于非临震时个别前兆零散的突变现象。形变、倾斜、地磁、气压、水氡、应力、水位、地电、重

*包括我国1989年各种前兆手段实用化攻关的资料、公开发表的书刊和专家系统提供的资料。

考虑到确定震级的误差，本文把2个6.9级地震也列为大震的范畴。

力、测震等10项临震突变统计结果表明, 突变距发震3—20天的时间概率超过60%。详见图1。

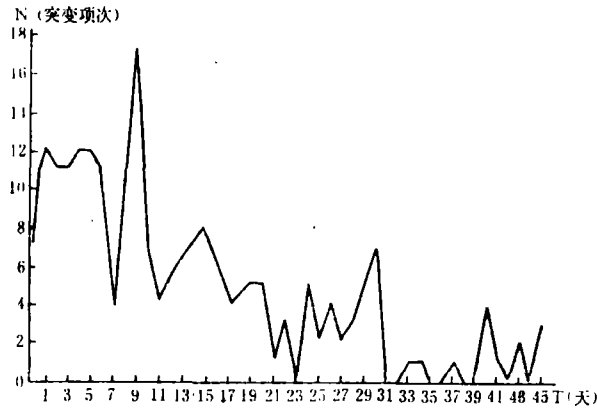


图1 临震突变项次随时间(突变日至主震发生日的间隔天数)的分布图
Fig.1 Distribution of the items and frequency with time of sudden change of imminent anomalies

(3) 临震数天突变项次与强度和频率显著加剧: 倾斜、气压、水氧、水位、形变、应力、地磁、地电等临震几天至十几天总体突变频次显著增加(图1), 多项多点集中出现, 最多是唐山大震前临震突变点超过50个, 最少的乌恰大震前临震突变点也超过5个(监测台网稀疏)。从临震几天至几小时, 除乌恰大震外, 都不同程度地出现电磁扰动、地磁日变形态畸变、地电指针摆动, 地下水、动物习性、地光、地声、地气等宏观异常伴随发生, 震前数小时往往成群出现, 即所谓“一大二跳”的特点。〔15〕

(4) 大震前多项、多点呈现明显趋势性异常: 最多的是唐山大震前8个项目、30多个点有趋势性背景异常, 最少的是乌恰大震前有3个项目、4个点有趋势性背景异常。有趋势异常占11次大震的百分比是: 倾斜64%、形变64%、水氧82%、水位82%、地磁45%、重力54%、地电82%、应力45%。以唐山与松潘大震为例计算趋势性异常项目(或测点)占总数的百分比列于表4。

表4 唐山与松潘大震前观测点出现长中短趋势异常的百分比统计

震中距	0—100km				100—200km				200—300km			
	异常点数	百分比	异常项目	百分比	异常点数	百分比	异常项目	百分比	异常点数	百分比	异常项目	百分比
唐山大震	36	60%	6	67%	35	57%	8	100%	6	17%	3	43%
松潘大震	12	75%	6	50%	16	57%	7	70%	31	77%	8	72%

形变、地磁、水氧、重力、应力、地电一般有长、中、短趋势异常, 中期比长期显著, 短期比中期显著; 倾斜一般有中、短趋势异常; 水位一般有短期异常。短期异常以中长趋势异常背景上加速或转折为主, 而且异常点向未来震中逼近。根据本文作者近百个中强震例的统计分析, 认为中强地震前很少出现中长趋势背景异常。没有认真地、系统地、深入地研究趋势异常的时空演变过程, 大震的预报是没有基础的, 单靠突变性异常进行短临预报是没有保障的²⁾。

(5) 大震前的前震活动：主震前数小时、数天以至1个多月，在主震震中区及其附近发生的异乎寻常的地震活动，最大震级 $M_f \approx M_m - 1.3$ (M_m 为主震震级)。11次大震前有明显前震活动的有7次，占64%，无明显前震活动的有4次（其中有2次在震前3个月有突出的震群活动，2次是震前平静1年左右）。

(6) 临震突变形态：形变主要是上升变化，个别是下降；倾斜是突然转向，或用矢量图表示为打结；气压*主要为下降变化，少数是先下降后上升；水化学（水氧）主要是上升，部分是先上升后下降；水位大多是突降，部分是突降后回升过程中发震；测震大部分表现为明显的前震活动，少部分无明显的前震活动；地磁大部分表现为低点位移，部分还显示日变形态畸变；应力观测值大多是下降，部分是上升；地电大部分表现下降，少数显示上升；重力观测值大部分显示下降，个别是上升；气温主要是上升，少数是先上升后下降，与气压同步相反变化。

(7) 异常点空间展布范围和密度：60—70%异常点分布距震中200Km范围内，30%分布于200—400Km范围内，少数超过500Km。异常点往往不是以震中为圆心划圆的均匀分布，而是受地质构造、断层活动、震源应力场和区域应力场的控制。所以异常密度要根据异常点实际展布空间（例如条带、半圆、扇形、矩形等）来计算。唐山大震异常点沿北西西向成扇形密集分布；松潘大震异常点沿北北东向成条带密集分布。本文以唐山、松潘两次大震为例计算异常点与项目的密度于表5、6。

表5 临震异常点与项目的密度计算结果

震中距	0~100km				100~200km				200~300km			
	实际异 唐山16000km ² 常面积：松潘1800km ²				实际异 唐山26000km ² 常面积：松潘18000km ²				实际异 唐山36000km ² 常面积：松潘88000km ²			
异常密度	异常 点数	异常 密度	异 常 项目数	异常 密度	异常 点数	异常 密度	异 常 项目数	异常 密度	异常 点数	异常 密度	异 常 项目数	异常 密度
唐山大震	11	1450*	6	2660	17	1520	7	3710	7	5140	5	7200
松潘大震	7	257	6	300	10	1800	8	2250	13	6760	9	9770

* 每1450平方公里范围内至少有一个异常点

表6 趋势异常点与项目的密度计算结果

震中距	0~100km				100~200km				200~300km			
	实际异 唐山16000km ² 常面积：松潘1800km ²				实际异 唐山26000km ² 常面积：松潘18000km ²				实际异 唐山36000km ² 常面积：松潘88000km ²			
异常密度	异常 点数	异常 密度	异 常 项目数	异常 密度	异常 点数	异常 密度	异 常 项目数	异常 密度	异常 点数	异常 密度	异 常 项目数	异常 密度
唐山大震	23	690	6	2660	15	1730	6	4330	2	18000	2	18000
松潘大震	7	250	6	300	15	1200	7	2570	14	6280	7	12570

另外，还作出中国大地震各种前兆临震突变异常时、空分布图 ($\Delta T \sim \Delta d$)，从图象上看异常点比较密布于震前2—16天，震中距50~320公里的空间上，这与上述(2)、(7)结论是吻合的。故未展示图例。

2) 梅世蓉，对1990年各单位地震趋势研究报告的评审意见，1990。

* 气压异常量有地区性差异，大震临震前大多数日均值变化10mb以上。

还有一点需要指出的是本文作者在统计分析近百个中强震例中发现：突变异常幅度与震级无明显关系。

大震临震预报综合指标的研究

测震是基础，它能监测大小地震的发生，取得真正来自地壳深处的信息。地形变能比较“直接”显示地壳深部震源区的变化。地下水作为地震前兆的可能性是由于地下水体受微弱应力变化而流动，是很灵敏的^[22]。本文对这三种前兆资料看作是最基本的。据本文统计大震临震前气压变化也是普遍的*。因而，测震、地形变（倾斜、三角、水准、应变）、地下流体（水位、水氧）、气压这4项前兆有无临震异常，是大震临震预报的决策项目。

(1) 地形变（倾斜、三角、水准、应变等任1项）与地下流体、气压、前震活动之任2项（共3项）出现同步性突变异常（异常起始时间差不超过30天），这是临震预报的先决条件。据此预报大震发生概率超过64%（依据见上述总体特征之1、4、5）。

(2) 地形变、测震、地下流体、气压、地磁、重力、地电、应力等观测项目中至少有3个以上项目的多个测点呈现趋势性背景异常，趋势异常点平均密度为每2500—5000平方公里范围内有1个异常点，占总测点百分数为50%左右（见表4、6）。至少有5个以上项目出现临震异常，其临震异常点平均密度为每3000左右平方公里范围内有1个异常点，占总测点百分数为40%左右（见表3、5）。即形成时间上基本同步、空间上相对集中的多项、多点的异常群体。这是临震预报的充分条件。而大气压、气温、地温等临震突变是一般中强地震所没有的现象。

(3) 临震时间预报：各种前兆临震突变距发震时间统计结果分别为形变4—16天，倾斜1—10天，气压3—17天，水氧6—19天，水位1—9天，地磁16—30天（低点位移异常有的是震前45天左右），重力3—9天，应力1—15天，地电3—16天。根据上述，预报3—20天内发震的时间概率超过60%。利用地磁低点位移异常能给出可能发震时间参考点。若倾斜、气压、气温、水位、重力固体潮等出现突变，则可预报10天内发震。

一旦发现临震前小震密集—平静、电磁扰动、地磁日变形态畸变、地电指针摆动、水位突变以及地下水、动物习性、地光、地声、地气等宏观异常伴随发生时，则应紧急预报几天以至几小时后大震来临。当然，少数大震前（如唐山、松潘大震）还有几起几落的现象。

(4) 临震震级预报：本文所研究临震突变异常总体性质与预报指标的本身是对7.0级以上大震而言的。另外，根据中短临各阶段异常点展布范围（震中距R）及趋势异常时间（天数T），利用经验公式 $\text{Log}T = a + bM$ （或 $\text{Log}RT = a + bM$ ）来计算震级。郭增建先生曾提出发震断层长度（L）与震级（M）间的经验公式 $M = 3.3 + 2.1\text{Log}L$ 。本文作者以水化学（水氧为主）的大量震例分区计算异常持续时间与震级之关系，效果较好^[8]。

还可以根据前震最大震级及其发生后的时间t估算 M_m ， $M_m = 0.574M_f + 0.755\text{Log}t + 1.814$ 。

(5) 发震地点预报：以各台（项）以往对应地震的不同距离为半径，异常点为圆心画圆，各圆大都重合的部分即为未来震中区，本文称之“综合交汇法”。该方法对上述大震基

* 大气压与大地震之关系另有附件论述。

本适用，但也有一定局限性，若异常点均偏于未来震中一侧，则无法运用。

宏微观异常相对集中区或前震活动区及其附近活动构造部位可能是未来的震中。

中长期预报所划定的未来危险区可作为临震地点预报的重要参考。

另外，个别测点异常具有反映地震的方向性，即能对应特定地区的地震。

用1990年4月26日共和6.9级地震前兆异常总体特征，检验上述指标，是完全吻合的（见应用证明）。

需要说明的是：目前各种所谓的前兆观测资料，因测点条件、观测仪器精度、稳定性、外界因素等产生的噪音干扰，使得人们很难辨别哪些是干扰，哪些是地震前兆信息。丰富多彩的临震异常是震后大量调查的结果，震前能掌握的只是震后总结的很小部分。因此，震前只要掌握几个高质量的临震异常，又有中短期确切的震情判断为依托，就要不失时机地把注意力集中到临震预报上。近年来所采用的强化临震监测和跟踪预报的方法是可行的。

地震预报（特别是临震预报）是当今世界上的一大科学难题，它的复杂性、艰巨性甚至要超过登火星、战癌症。在攀登临震预报的征途上每前进一步都是很困难的。尽管作者在国家地震局系统多位专家的指导下探讨了大震临震突发性异常总体特征和大震临震预报指标，但迄今人类尚未真正掌握地震孕育、发展、发生各过程的内界规律，还有许多有待解决的难题。

（本文1990年3月5日收到）

参 考 文 献

- [1]梅世蓉，我国地震预报现状，人民日报，11月20日第5版，1986。
- [2]M.A.萨多夫斯基，地震预报，陈英方、张炜等译，地震出版社，1986。
- [3]马宗晋等，中国九大地震（1966—1976年），地震出版社，1982。
- [4]高旭等，我国地震前兆特征的统计分析与研究，地震，No.5，1984。
- [5]张肇诚等，唐山地震的短临前兆特征，地震，No.4，1983。
- [6]张文冕等，水氧短临异常判别指标及预报三要素方法探讨，西北地震学报，Vol.12，No.1，1990。
- [7]C.H.Scholz，J.Geophys. Res，No.77，1972。
- [8]郭增建、秦保燕，震源物理，地震出版社，1979。
- [9]罗光伟，氦与地震关系实验研究的两种结果，地震科学研究，No.1，1979。
- [10]张炜，地下水与地震预报的关系，地震科学研究，No.1，Vol.2，1979。
- [11]蔡祖焯等，在我国发现的地震前地下流体异常实例，地震学报，Vol.2，No.4，1980。
- [12]汪成民等，地震前地下水位的短临变化异常，地震学报，Vol.4，No.4，1982。
- [13]梅世蓉等，一九七六唐山地震，地震出版社，1982。
- [14]陈立德等，1976年龙陵地震，地震出版社，1979。
- [15]朱曾佐等，松潘地震，地震出版社，1978。
- [16]蒋凡等，海城地震，地震出版社，1978。
- [17]钱家栋等，地电阻率的数值模拟和多极距观测系统，地震学报，Vol.10，No.1，1988。
- [18]张国民等，关于区域应力场变化“窗口”的研究进展，中国地震，Vol.1，No.3，1985。
- [19]（比利时）P.梅尔基奥尔著，潮汐触发地震，行星地球的固体潮，科学出版社，P356—361，1984。
- [20]M.A.Садавкий等，震前大气层中和封闭体积中温度和压力函数平衡状态破坏的现象，世界地震译丛，No.5，1987。
- [21]M.J.S.Jomuston，Tectonomagnetism and Tectono-electricity，Reviews of Geophysics，Vol.25，No.5，P983—988，1987。
- [22]顾功叙，从经验预报走向物理预报，地壳形变与地震，Vol.9，No.4，1989。
- [23]梅世蓉，我国大陆地区两类地震的前兆特征、发生机理与预报途径的探讨，综合预报分册，地震出版社，1989。
- [24]张肇诚等编，中国震例，地震出版社，1988。
- [25]国家地震局预报中心，中国地震前兆资料图集，地震出版社，1984。
- [26]罗兰格等，地震综合计算预报，中国地震，Vol.1，No.4，1985。
- [27]陈章立，我国地震预报研究的现状与展望，中国地震，Vol.1，No.1，1985。

THE WHOLE CHARACTERISTICS AND THE PREDICTING INDICES
OF SUDDEN ANOMALIES OF IMPENDING EARTHQUAKE FOR
MEGSEISMS IN CHINA

Zhang Wenmian, Tian Shaobai, Wu Jianhua
(*Earthquake Research Institute of Lanzhou, SSB, Gansu*)

Abstract

In this paper, sudden anomalies of impending earthquake and obvious trend anomalies are analyzed statistically for eleven earthquakes ($M \geq 7.0$) from 1969 to 1990 in China. The whole characteristics of sudden anomalies before the megaseisms, the distributing rules of the item-and-frequency with time (the interval from the sudden change date to the earthquake occurrence date), the synthetic distinguishing method of imminent anomalies etc. are discussed. The synthetic indices of imminent prediction for great earthquakes and the effectiveness of time prediction are further discussed.