

# 西北地区地震综合预报探讨\*

西北地震综合预报清理攻关组

## 摘 要

本文初步总结了西北地区近十几年来地震综合预报的探索与进展。结果表明,在中长期趋势预测方面,对多数5级以上破坏性地震已具有测震学监测基础,综合预测结果基本上通过了统计检验;在短临预测方面仅对乌鲁木齐地区和兰州、银川、西安和武都范围以内发生的6½级以上地震具有初步的监测基础。由19个震例获得以测震学资料为主的中长期趋势异常共73项,以地下水位、水氡、地电和地磁资料为主的短临异常共59项。本文概述了有关异常的特征和综合预报思路,讨论了有关问题和动向。

## 一、地震会商会的效能

我们系统整理了二十年来西北地区各种类型地震会商意见,汇编了西北五省(区)地震会商会报告材料<sup>1)</sup>。在此基础上,对会商意见的效能进行了初步分析。采用的方法是将会商会的综合预报意见按其与地震三要素的对应程度划分五个等级(各等级有定量标准),并把对效果的评判简化为一维问题,采用0—1型检验方法,分别给出趋势会商和短临会商的顾氏评分。主要结果为:

(1) 趋势会商预测均通过统计检验,包括 $X^2$ 、泊松和F检验(置信水平 $\alpha=0.05$ ),顾氏评分值为0.1—0.3,表明与盲目预测有显著差异。

(2) 短临会商预测没有通过统计检验,顾氏评分值为0—0.05,表明短临预测能力很差。

近20年来发生在西北地区前兆观测台网内的5级以上地震约20次(不计强余震)。在趋势会商中有预测的11次,漏报8次,但虚报51次,短临会商取得预报效果的有2次。此外,对1976年8月松潘第二次7.2级地震和1985年乌恰6.7级强余震也有短临预报。

从1970年到1985年,虚报率明显下降,以1978年为界,前期虚报率高达90%,后期下降到10%以下。

\* 本文由李海华执笔,攻关组由李海华(甘肃)、朱令人(新疆)、张文孝(宁夏)、吴高春(陕西)、郭亚平(青海)等人组成。

1) 西北五省(区)地震综合预报清理小组,西北五省(区)历年地震会商会报告材料汇集,1984。

关于地震会商的改进至少有以下方面：

(1) 建立不同层次的地震监测系统，最重要的是短临前兆监测网，从而建立与之相适应的多层次会商，特别是短临会商应成为会商室技术现代化的主要目的。

(2) 各级会商程式的规范化。

(3) 会商意见或结论的效果评判客观化和定量化。

## 二、西北地区地震前兆台网综合监测能力的评价

### 1. 评价监测能力的指标

首先定义评价监测能力的一个指标，即

$$P = \frac{n}{N} \tag{1}$$

式中N为可以作出综合判定的最少异常数(本文暂取N = 5)；n为地震前取得的异常数，

$$n = \alpha \rho \pi R^2 \tag{2}$$

式中ρ为前兆台网密度(单位：项次/万平方公里；R为与震级正相关的异常范围优势半径(单位：公里)；α为在半径为R的范围内震前取得的异常项目占该范围内总台(项)的比例系数。

P = 1 时，台网有监测能力

P > 2 时，台网监测能力较强

P < 0.5 时，台网监测能力较差

### 2. 西北地区地震监测能力分析

到1985年初，西北地区计有测震台95个(不包括无线电传输子台)，前兆观测130台项(I、II类台)，如表1所示。图1示出了西北地区测震定位能力与前兆台网高密度区(ρ > 2)。

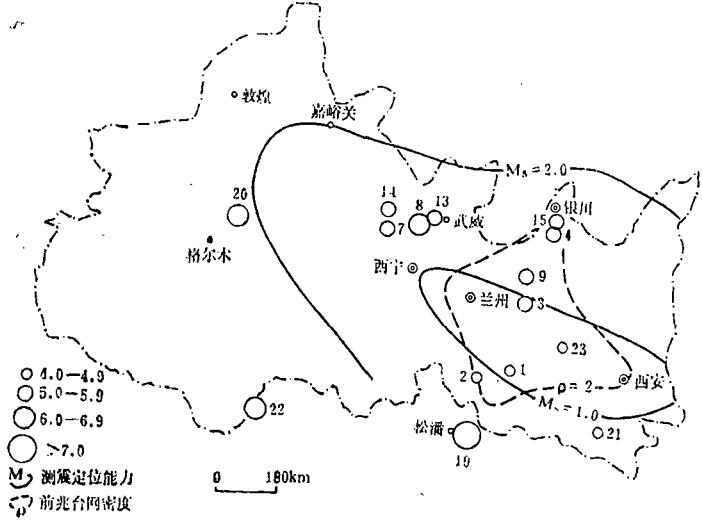
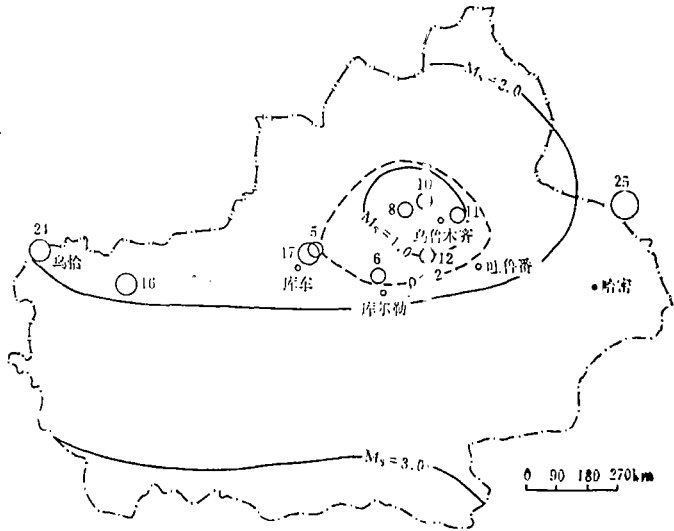


图1 西北地区测震定位能力与前兆台网高密度区(ρ > 2)  
Fig. 1 The seismometric ability in positioning and the precursor network of the high dense area (ρ > 2) in the Northwest of china

图2为西北地区前兆异常分布范围与震级的关系。由图可见，大多数是在*l*曲线的右下方，故*l*曲线表征了不同震级的地震的异常分布的优势范围，其拟合方程为

$$\log R = 0.48M - 0.80 \quad (R \text{ 单位: 公里}) \quad (3)$$

由震例总结获得的 $\alpha$ 值与震级关系见表2。至此，由(1)式可求得不同地区相应震级的监测能力指数，如表3所示。结果表明，对5.5级地震，基本上没有监测能力；对6.5级及其以上地震，具有短临监测能力的地区大体上就是各省(区)前兆台网相对密集区(图1中两个虚线所围的地区，新疆为13万km<sup>2</sup>，陕甘宁青约17万km<sup>2</sup>)。

表1 西北五省(区)台网观测项目统计(1985年)

项目	地区					合计
	陕西	甘肃	宁夏	青海	新疆	
地形变	1	0	1	0	4	6
地倾斜	8	0	1	2	6	12
地电	8	11	6	0	1	20
地磁	8	4	0	3	9	19
水化	6	5	4	5	7	27
水位	2	15	13	0	8	33
地应力	1	17	1	0	2	21
重力	0	0	1	0	1	2
合计	19	42	26	10	33	130
测震	17	30	7	10	31	95

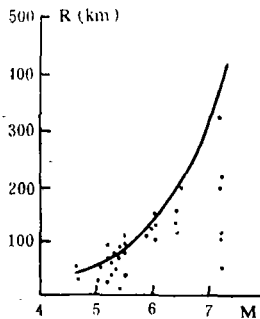


图2 西北地区短临异常分布范围与震级的关系

Fig. 2 The relationship between the epicentral distance of the short-imminent anomalies and magnitude in Northwest China

表2  $\alpha$ 值与M关系

M	4.5	5.5	6.5	>7
$\alpha$	0-0.1	0.2	0.3	0.4

由图1可见，有两个地区即北疆和柴达木以东测震定位可达2级(M<sub>s</sub>)，由表5可见在该范围内5级以上地震的中长期异常大多在5个左右。因此，上述两个地区对5级以上地震已具有初步的中长期监测能力。

表3 西北各分区地震短临监测能力

地区	面积 10 <sup>4</sup> km <sup>2</sup>	M=5.5 n p	M=6.5 n p
陕西	西安以南	6 1 无	4 0.8
	其它地区	12 ~0 无	~0 无
甘肃	兰州以东	9 1 无	5 1
	其它地区	30 ~0 无	1 无
宁夏	南	3 3 0.6	5 1
	北	4 1 无	5 1
青海	西宁以东	6 1 无	3 0.6
	其它	66 0 无	0 无
新疆	乌鲁木齐地区	20 1 无	4 0.8
	其它	140 0 无	0 无

### 三、震例总结、前兆特征和观测事实提出的问题

#### 1. 震例总结与前兆特征

我们对1970—1985年发生在台网监测范围内及邻近地区的24次地震进行了总结〔1〕，震中分布见图1，异常项目见表4和表5。由震例获得的前兆特征如下：

(1) 在台网监测范围内地震前确有异常显示，且异常数量与异常展布范围有随震级而增大的现象。

(2) 就平均情况而言，每个震例的中长期异常数量为5个，短临异常为3个。

(3) 中长期异常以测震学指标为主(占76%)，短临异常以水氡、地电、地磁和水位为主(占65%)。

#### 2. 观测事实提出的问题

(1) 迄今还没有发现可以称为“前兆”的事实，而是众多的“异常”现象。

表4 短临异常项目与震中距\*

地 震			短临异常震中距(单位:公里)												
编号	时 间	M <sub>s</sub>	地电	水化	地磁	应力	水位	水氡	倾斜	水准	重力	其它	合计		
1	1979年7月25日	4.7	28		(240)			55					2(1)		
2	1985年6月24日	4.9			(230)	90							1(1)		
3	1970年12月3日	5.5			(170)			(160)		35			1(2)		
4	1971年6月23日	5.1			(290)								(1)		
5	1977年7月23日	5.4		(300)						90		井喷15	2(1)		
6	1978年4月22日	5.4						(240)	(240)				(2)		
7	1980年4月18日	5.2	(200)					(392)	(164)				(3)		
8	1980年11月6日	5.8		120			120	120			120		4		
9	1982年4月14日	5.5	84 90					110 130					4		
10	1983年3月8日	5.4					85	85					2		
11	1983年6月1日	5.3					75	75	70				8		
12	1983年12月15日	5.2				(160)	90				100		2(1)		
13	1984年1月6日	5.3	42		(240)	(240)		(245)					1(3)		
14	1984年2月17日	5.1	(116)					(120)					1(2)		
15	1984年11月23日	5.3	32		(300)					90	60		3(1)		
16	1977年12月19日	6.0							150				1		
17	1979年8月29日	6.0		(350)						90 150			2(1)		
18	1986年8月26日	6.4	140		(250)			140 150				电扬 110	4(1)		
19	1976年8月16日	7.2	100		360	350		120 320				电扬50	6		
合 计			7(2)	1(2)	1(7)	2(2)	5	10(5)	2(2)	5	3	3	39(20)		

\* 震中位置见图1，括号内为远距离异常；1976年松潘7.2级地震仅统计本区前兆台网

表5 西北地区震例有关中长期异常项目一览表\*

编号	条带	空区	b值	频次	波速比	调制比	有序性	形变	流动重力	其它	合计
1											0
2					√		√				2
8	√	√	√	√	√	√	√				7
4	√					√				震中迁移	8
5	√				√	√		√			4
6			√		√					尾波、振幅比	4
7		√	√								2
8		√	√	√	√	√				尾波	6
9	√	√	√	√			√		√		6
10			√		√	√					8
11				√							1
12											0
13	√	√			√	√	√			蠕变曲线	6
14		√		√							2
15	√			√			√	√	√	震中迁移、蠕变曲线	7
16			√		√						2
17			√		√	√				尾波、振幅比	5
18	√	√	√				√	√		偶极测深	6
19	√	√	√	√				√		电磁测深、震群	7
合计	8	8	10	7	9	7	6	4	2	11	73

\*震例编号同表6；震中位置见图1。

(2) 异常仅出现在少数观测点上，可用前述的“异常百分数”( $\alpha$ 值)定量指标。多数观测点甚至位于震中的观测点可以不出现异常。

(3) 地震前的异常现象分布范围很大，其远场异常竟然远远大于震源体。如1974年7月3日巴里坤东北蒙古境内的7.1级地震(图1中地震25)，距震中550km的乌鲁木齐出现地倾斜异常<sup>2)</sup>；1979年3月29日库车6.0级地震(图1中17)，距震中350km的乌鲁木齐出现硫化氢异常<sup>2)</sup>；1984年元月6日武威5.3级地震(图1中13)，距震中240km的刘家峡地应力出现异常<sup>2)</sup>等(见图3)。

(4) 长中短临异常全过程很难在某单项观测资料中出现，有些手段反映中长期趋势异常较好，另一些手段则在短临异常中占优势。

(5) 绝大多数前兆观测项目观测的物理量都是属地表或浅层地壳内的，并没有直接观测到震源的物理变化。

2) 西北五省(区)地震综合预报清理小组，西北五省(区)地震综合预报清理研究总报告，1985。

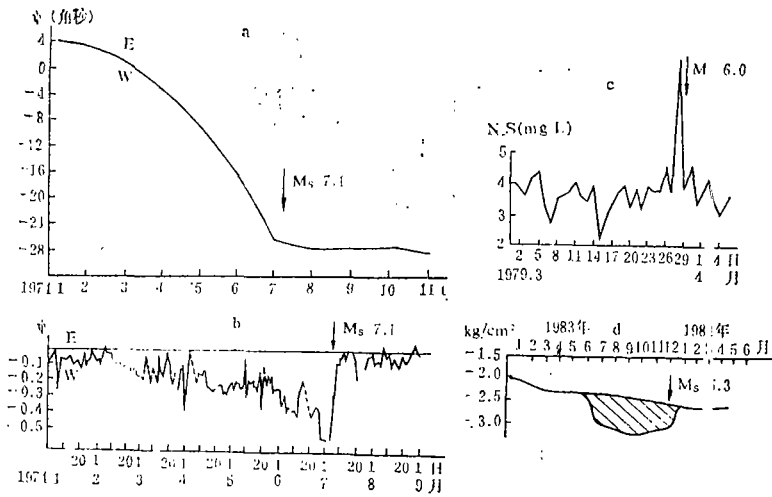


图3 西北地区一些远场异常实例

Fig. 8 Some examples of "super-distance" anomalies in Northwestern China

以水氡为例，兰州地震研究所水化室在武山观测到滑坡滑动前后泉点氡值的变化超过正常变化幅度几倍甚至十几倍〔2〕。这是很有意义的事实。表明半衰期很短的氡值异常不大可能来自地下十几公里深处，而主要是地表附近浅部动力地质作用的结果。

(6) 无震异常事件比较突出，典型的有1976年8月西安无震异常事件〔2〕及其后发现的西安地裂缝事件；1979年11月甘肃靖远的“海眼”事件〔2〕，1984年6—7月乌鲁木齐的废油井井喷事件〔2〕等。初步分析认为，这些无震异常可能属于断层蠕动或应力调整事件，但尚缺乏证据。迄今还没有区分地震孕育和无震运动的实用性指标，难免造成虚报。

#### 四、地震综合预报思路的探讨

##### 1. 综合预报分析与决策（经验性）原则

###### (1) 层次分析原则

层次的划分即通常所指的时间上分阶阶段，空间上分块划带，强度上分等划级。如何合理地划分层次是有待深入研究的课题。综合预报实践业已表明，最重要的是必须遵循尺度对应原理，即预报的地震三要素必须与异常的时空强尺度相当〔8〕。如下一些作法虽然屡见不鲜但显然是不适宜的：用全球性大变化作单个地震预报、用单点小异常作强震预报、用短时间变化作长期预报及用长期变化作临震预报等等。

###### (2) 综合配套或预报因子组合原则

在进行综合预报时要尽可能考虑到各方面不同层次，不同类别的因子，但又要避免烦琐，力求简明扼要。据此可选取如下五方面因子镶嵌配套或组合：地质及环境因子、地震大形势分析因子、地震活动性因子、微观前兆观测因子、宏观前兆因子和外因触发或促发因子。

###### (3) 跟踪分析预报原则

跟踪预报的核心是不断分析新现象、新异常和新震情，从而不断修正预报意见，而不是一旦有了预报意见就可以袖手“等待”地震的发生。

#### (4) 多因子“投票”决定与主因子加权决定原则

### 2. 综合预报思路的探讨

#### (1) 震源物理思路

近十几年,在野外前兆观测和室内模拟实验的基础上,西北地区地震预报工作者在震源与前兆物理关系方面进行了很多方面的探讨。提出了震源孕育组合模式、膨胀—蠕裂模式、层间解缚与前兆优显层和短临预报的调制模式等等。这些探讨都是基于震源物理过程在引起前兆或异常中的主导作用,它们在解释前兆物理和指导综合预报思路等方面有着重要的意义。

#### (2) 网络点或离散场思路

前已述及,由于观测事实提出了多方面的新问题,观测到越来越多的异常现象很难用震源来解释,因而不少学者采用网络点或离散场的思路。即认为异常并不一定是直接来自大震震源的信息,而是伴随大震震源的准备过程同时,在大范围不均匀应力—应变场的某些网点的准同步变化的反映。震源的“准备过程”与“孕育过程”有所不同,后者意味着地震的长、中、短前兆一旦显示,那么地震的发生就不可避免,因而前兆的显示在时间上是连续的、渐进的,在空间分布上则限于震源区及其附近;所谓“准备过程”则认为可以随介质应力—应变条件变化随时中止原处地震的准备过程而转移到另一处准备,而且可以在一些网络点同时准备。因而地震的长、中、短、临异常的显示可以是连续的,也可以是有间断的或不完整的,并且异常展布的范围较大,形成复杂的离散场。在离散场中,即有近距震源的异常优势分布,也有远距震源或远场异常存在;即有无震异常点散布,也有“灵敏点”或“窗口”效应。

#### (3) 预报思路的多方探索与讨论

近十几年来,在综合预报实践过程中,除了兼收并蓄上述两种预报思路外,还在以下几方面进行了广泛探索。

渐进式预报与跨越式预报。渐进式预报思路认为愈接近地震发生的时间和地点,则能观测到或震源显示的信息愈强。但自然界还存在另一类性质的现象即“可公度性”现象(翁文波,1981),表现为愈接近事物发生的时间和地点,所反映的信息反而减少或变弱。例如具有同期性、韵律性和突变性等现象就是如此。可以依据同位相或韵律或非线性规律跨越时空进行预测。例如地震震中并不相邻,而是不同震级有不等优势间距;某些异常的发展并非渐进,而是呈现某种韵律起伏等等(郭增建,1983)。

临震前兆和临震预报的特殊性。一些确切的事实反映了震前存在断层“预滑”和能量“预释放”。预滑反映了震源的临震不稳定性(郭增建,1974),而能量预释放是大释放的前驱。临震前大量异常的“回跳”(如视电阻率的回跳、地下水位的临震回跳等等)以及临震现象与大震时并发现象的一致性(如大震瞬时及震后短时间内水位等异常沿回跳方向继续大幅度变化)也表明临震是震前能量的预释放。

如果说异常的长、中、短过程反映了震源能量积累和加速积累过程的话,那么临震和震时及震后异常可能反映了震源能量预释放、大释放和剩余释放过程,由于长、中、短和临震不是同方向的、渐变和连续的,而是相反方向、突变和不连续的,因而临震异常和临震预报有其特殊性。

单个地震与群体地震预测。在一个地区(如南北地震带北段),一定时间尺度(如十年左右)可以发生两次8级以上地震,多次7级以上地震。迫使人们不仅研究单个地震的预报,

同时也注意地震群体或地震大形势的探讨。

对单个地震的预报,主要预报思路可概括为六点:即在地壳划分块体基础上划分地震带(块体边界);在地震带分段特征上研究近期大震的震源位置;并由震源物理过程判断和鉴别可能的前兆;还要考虑外因的触发作用,最后综合分析进行预报(综合决策原则已如前述)。

对地震群体或地震大形势的判断,主要预报思路可概括为三点:即地震活动的“层次性”;大地震(一般取 $M \geq 7\frac{1}{2}$ )在强震活动中的“主导性”及地球物理因子的“调制性”。

“新三论”在地震预报中的应用。现代统计物理中的“新三论”正在被引入到地震预报的研究之中。初步结果表明,断层运动过程具有分岔现象<sup>8)</sup>;复杂震源系统具有自相似镶嵌的层次<sup>[4]</sup>;强震前中小地震时间序列具有分维结构<sup>[5]</sup>;环境因子对不稳定震源变动方向的多重选择和岔区外敏中具有积极作用等等<sup>[6]</sup>。

基于新理论,在地震综合预报中一个重要的指导思想就是必须实行跟踪预报。

(本文1987年12月14日收到)

### 参 考 文 献

- [1]张肇诚、罗兰格、李海华、陈立德、李宜瑚,中国震例,地震出版社,1988.
- [2]徐玉华,滑坡与水氡变化,西北地震学报, Vol. 2, No. 1, 1980.
- [3]李海华,地震活动的有序性与层次性,地球物理学报, Vol. 30, No. 5, 1987.
- [4]秦保燕,大震前复杂震源系统的非线性阶段和大震预报,西北地震学报, Vol. 8, No. 4, 1986.
- [5]李海华,门源6.4级强震前地震活动时间的分维结构,西北地震学报, Vol. 9, No. 4, 1984.
- [6]郭增建、秦保燕,耗散理论在地震预报中的应用,西北地震学报, Vol. 9, No. 2, 1987.

8)牛志仁等,断层运动中的浑沌一倍周期分岔、Feigenbaum数、吸引子,1987.



## RESEARCH ON COMPREHENSIVE EARTHQUAKE PREDICTION IN THE NORTHWESTERN CHINA

The Key Task Group for the Research on Comprehensive  
Earthquake Prediction in the Five Northwestern  
Provinces/Regions

### Abstract

This paper has made a brief introduction to the main achievements and development of the comprehensive earthquake prediction in the Northwestern China. The analyses show that in the aspect of intermediate-long term tendencies, there is elementary surveying foundation for most destructive earthquakes ( $M \geq 5$ ). The results of the comprehensive observation have basically passed statistical tests. There is elementary surveying foundation of short-imminent precursor networks for earthquakes ( $M \geq 6.5$ ) only within Urumqi, Lanzhou, Xi'an, Wuzhong and Wudu districts. From 24 seismic cases we get 73 items of intermediate-long term tending anomaly data which are mainly seismometrical ones, 53 items of short-imminent anomaly data which are mainly groundwater level, radon, telluric current. This paper has summarized the chief features of temporal and spatial distribution about the anomalies and discussed the new problems and new directions in the comprehensive seismic predictions.