

中国大陆多种前兆异常研究 及强震的尝试性预测*

杜学彬¹, 任广军², 薛顺章¹

(1. 中国地震局兰州地震研究所, 甘肃 兰州 730000;

2. 临沂师专, 山东 临沂 276005)

摘要:强震震源周围地电、水化学、水动态、地应力和地形变等5种前兆短临异常时空演化取决于主要活动构造和强震发震机制;远场异常时空演化与主要活构造有关,不同活构造上异常时间演化有差异性;在特定年份1a尺度地电阻率异常显示异常高潮期, $M_S \geq 5.0$ 地震能量达到1次以上 $M_S 7.0$ 强震能量的年份与异常高潮期同步或滞后1a,二者与地球自转加速年份基本对应.根据两方面的研究结果进行了实际预测检验,在预测区间和预测时间段(0.5a或1a)内发生强震、中强震10次,其中7次地震地点基本准确,3次地震地点较为准确.

关键词: 陆震;地震预报;地球自转;地震机制;活动构造

中图分类号: P315.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(1999)02-0113-10

0 引言

目前国内外地震前兆和预报研究主要有两个方面:①地球物理、化学场(如应力应变、电磁、流体及其化学组份等)变化的经验性分析.常规思路认为异常持续时间长、幅度大,地震强度大;台站愈接近震中,异常幅度愈大.通过对以往震例总结、学习,建立经验性关系,根据当前观测结果经验性地推测下次地震的时空强,而没有更多地考虑地震发生的复杂地壳条件以及不同强震自身的力学机制等多方面的因素.异常的复杂性是客观存在的,不同学者的经验公式离散性比较大,预报结果与地震发生往往偏离很大.②从理论、实验室实验、数值模拟等方面提出理论(或前兆模式)来解释异常的形成,探索异常的时空演化规律.尤其在国家地震局“七五”、“八五”攻关研究中,不同学者从不同侧面做了大量研究,期望抽象异常演化规律,建立异常演化与强震孕育之间的物理关系,取得了有一定意义的进展.但是,地震发生在复杂的地壳条件下,地震与映震异常通过地壳综合条件相关,地壳中的实际情况相当复杂,目前对地震孕育和发生过程,地壳纵横结构和介质条件,震源-台站应力传递过程等了解不多,甚至对异常判断及其异常物理机制尚存在不确定性的认识.认识上的局限性制约了理论和实验方面的深入.实验样本与原位岩石性质的差异性、样本尺度的局限性以及计算模型与地壳实际结构和

收稿日期:1998-11-09

* 中国地震局95-04-01-01-09项目子专题研究成果之一;甘肃省自然科学基金资助项目(ZR-93-06);中国地震局兰州地震研究所论著编号:LC1999016

第一作者简介:杜学彬,男,1956年8月生,副研究员,从事地电方法预报地震的观测与研究工作的.

介质条件的差异性也都是制约因素. 实验和计算结果与几百公里外的异常机制是否存在可比性本身就值得推敲. 种种因素为实验和理论方面十分有意义的研究带来了极大难度. 我们相信, 有赖于地球物理研究的进展、实验技术的发展以及人们对诸方面影响因素的逐步认识和理解, 最终必将会从理论和实验方面认识地震与异常之间的物理关系, 但可能需要很长时间的艰苦努力.

理论、实验方面研究遇到的困难和经验性方法的不足使异常的复杂性在地震前兆和预报研究中显得尤为突出. 异常的复杂性是世界性的难题之一, 制约了地震预测技术的发展, 甚至动摇了部分科学家对地震预报的信心^[1], “地震预报是不可能的”悲观断言在部分科学家中蕴育而生.

显然, 就地震预报的中心课题而言, 目前亟待需要进行多思路、多途径的探讨. 近年来笔者研究了地电、水化学、水动态、地应力和地形变 5 种前兆异常的时空演变, 发现异常演变与强震发震机制和主要活构造有密切关系; “九五”期间对 1a 尺度地电阻率异常作了细致研究, 表明地电阻率异常确实与地壳力学状态的变化有关. 两方面的结果在预报实践中取得了实效. 本文介绍了两方面的主要研究结果, 同时对强震预测提出一些新见解.

1 异常时空演化与强震发震机制和主要活动构造的关系

中国大陆上地壳内水平应力分量占优势, 强震震源断层错动以水平错动为主, 一般具有挤压或拉张特征, 表明震前震源区及其周围发育着某一方位水平挤压或拉张(压应力相对减小)变化突出的应力场(称“发震应力场”). 日本学者安艺敬一认为, 震源断层倾向错动是单力偶源, 纯走滑错动是双力偶源, 既有走滑分量又有倾滑分量的错动是单力偶和双力偶混合力源. 中国大陆强震多数属于混合型. 震源周围地壳结构是不均匀的, 往往分布有不同走向的活动大断裂, 有的断裂切割地壳深度远超过震源深度. 发震应力场与结构不均匀性相互作用以及调整单元的调整运动在震源端部的应力集中(压、拉、剪)必定引起震源周围力学场变化的不均匀性. 据震源孕育的组合模式^[2], 震源断层两端是应力调整单元, 而其中部是应力积累单元. 调整单元压实程度低, 断层两侧应力易释放, 而积累单元压实程度高, 两侧的应力不容易释放. 发震应力场作用于震源断层, 其结果势必引起震源断层周围力学场变化的空间不均匀性. 据多点应力集中观点^[3], 一次地震发生前除了震源区和其附近是应力应变变化的“敏感部位”外, 其周围各活断层上还会形成多个高应力集中点, 它们对震源力学过程反应敏感, 因此震源周围的力学场变化也是不均匀的. 把 5 种前兆引入地震监测, 其目的在于观测与震源力学过程有关的力学场变化引起的地壳介质物理条件等变化. 5 种前兆探测深度较浅, 主要反映了地壳浅层介质力学条件变化, 多数情况下前兆测点与震源不位于同一地质块体上. 因此, 研究异常时空演化(特别是空间不均匀性)就理应结合地壳结构、介质不均匀性和震源周围力学场变化的不均匀性.

一个区域内不同强震的力学机制不尽一致, 因此, 研究异常还应考虑不同强震的个体力学特性.

基于上述思路, 文献[4]~[11]结合中国大陆强震宏观考察、震源机制和主要活动构造研究结果系统地研究了 5 种前兆异常特征, 得到以下主要结果:

(1) 如果把强震周围 5 种前兆异常归于强震孕育、发生的力学过程引起的地壳介质力学条件变化, 异常时空演变表明: 强震震前震源区及周围发育着与短临异常(或持续几个月的中短期异常)时间演化匹配的某一方位水平挤压或拉张变化突出的应力场, 挤压或拉张变化突出

的方向与震源断层错动特征(挤压或拉张)协调,与震源机制解的P-轴或T-轴方位吻合,但与当地基本应力场并不一定协调。

对甘肃及邻区部分强震周围震前应力状态变化的反演结果^{[12],[9]}表明上述认识是客观的。

(2) 异常集中分布在地壳薄弱部位(主要在活动构造上或其附近、活动构造交汇部位或以往强震震中区);震源地点不同、发震应力场方向(挤压或拉张应力变化突出的方向)不同或主要活动构造空间格局不同,异常和无异常台站的空间分布随之不同。短临、中短期异常空间分布与强震发震机制和周围主要活动构造之间存在两种特定关系:① 当位于前兆台站与震中之间的主要活动断层的走向与发震应力场方向的交角小于 30° 时,前兆台站一般不显示异常,即断层起了“阻隔”作用,尤其对短临异常“阻隔”作用明显;而交角在 $70^\circ\sim 90^\circ$ 时,“阻隔”程度弱或无“阻隔”作用。被“阻隔”的台站越靠近断层,“阻隔”作用越明显。② 强震周围显示异常的前兆台站一般位于过震中大于发震应力场方向 35° 和小于该方向 35° 两条交线组成的以震源为对称的两个锐角区内(类似于两象限性分布)的地壳薄弱部位,台站与震源之间无“阻隔”断层。

(3) 一次强震的源兆(短临)集中在震源区及其附近,空间上符合上述特定关系;场兆集中在震源外围的主要活动构造上,空间分布一般不符合上述关系。场兆显示在先,某一构造的同区段上场兆同步或准同步;源兆在后,同步或准同步。

(4) 5种前兆短临变化是以地壳介质力学条件变化为源的物理过程,介质力学条件变化造成地下流体活动可能是引起目前地电、水化学和水动态前兆观测显示明显短临异常的主要原因。

(5) 符合上述特定关系的条件下,同一前兆台站对不同强震异常时间演化有同步性或相似性,同一地点的不同前兆对同一次强震异常形态演化有相互协调性。

1995年永登5.8级地震时在450 km范围内有20个台站显示了异常,70%左右的异常集中在震源区及其周围,空间上符合上述特定关系,属短临或中短期异常,异常同步或准同步;而30%左右的异常属于持续2~3a的中期异常,空间分布并不一一符合上述关系^[9]。临夏地电和天水地电、地应力测站位于西秦岭北缘NW向断裂上,1993年开始显示异常(图1),西和水氡和武山水氡、水汞测点位于通渭-武都NS向断裂上,1992年开始显示异常,其场兆特征明显(依据断裂带不同场兆起始时间有差异,同一断裂带上场兆同步或准同步);武山水氡和水汞除了显示场兆外,还显示了明显的短临变化(符合上述特定关系的异常特征);天水地应力站在空间上不符合上述关系,除了显示场兆外震后还显示了明显的突跳(典型的震后变化)。

图2是1976年唐山 $M_s7.8$ 地震前后昌黎台地电阻率和龙家店水位的短临变化曲线,两个台位于同一构造上的同一地点(两个台的经纬度相同),短临变化的同步性和协调性明显。地壳薄弱部位介质不均匀性明显,孔隙、裂隙、浅层断层等发育,地下水丰富,同时该部位对周围地壳力学条件变化敏感,应力状态易发生变化。应力状态变化(由于介质破碎,低应力水平的变化也可能引起应力状态调整)使得无序状态的裂隙、孔隙变成有序分布从而沟通了地下水运移通道,或者使原来的裂隙、孔隙的有序分布变成无序分布从而阻塞了地下水运移通道,其结果势必引起地电、水化学和水动态异常显示下降或上升变化,众多震例似乎证明了这一点。

2 地电阻率异常与地壳力学状态变化

“九五”期间我们对全国地电观测资料进行了全时空研究,发现地电阻率月均值曲线显示不同形态的、持续几年的、相对稳定的长趋势变化,两相邻时段长趋势变化的过渡时间主要集

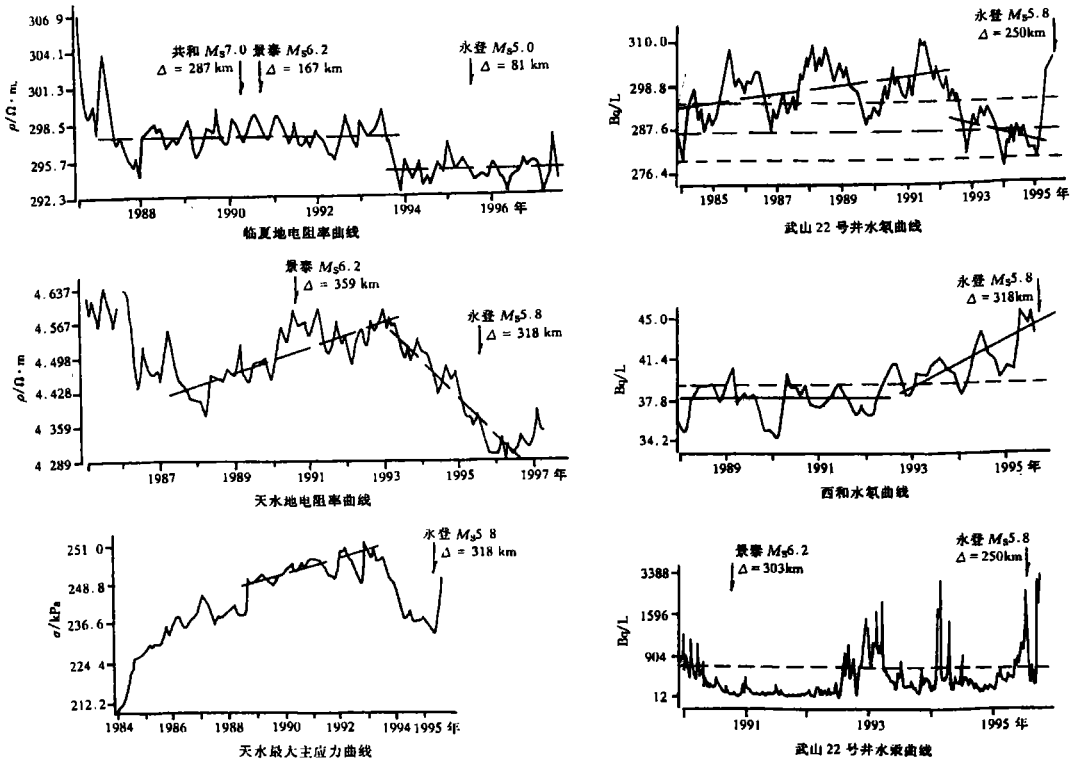


图 1 地应力、地形变和水化学月均测值曲线

Fig. 1 Monthly mean value curves of ground stress, ground deformation and hydrochemistry.

中在某些特定年份, 这些年份相应显示了 1a 尺度异常; 其次这些年份还频繁显示 1a 尺度的下降-恢复或上升-恢复异常. 两类异常遍布全国, 多数不对应地震, 为此做了比较细致的研究^①, 并得到以下主要结果.

2.1 地电阻率异常高潮期

研究了全国 92 个地电台、207 个测道 1977 年以前的观测资料, 92 个台分布在中国大陆 23°~47°N, 86°~127°E 的范围内, 资料时段总计折合 1 258 个台年(1 台年为某台连续观测 1a)、2 858 个测道年. 按台、测道逐年统计异常台数、测道数占当年台总数、测道总数的比例. 统计结果如下:

异常台年和测道年分别占观测台年和测道年总数的 39.3% 和 26.1%. 1974~1997 年 24a 中, 1976、1980~1981、1985~1986、1988~1989、1991、1994 和 1997 年显示异常的台占当年台

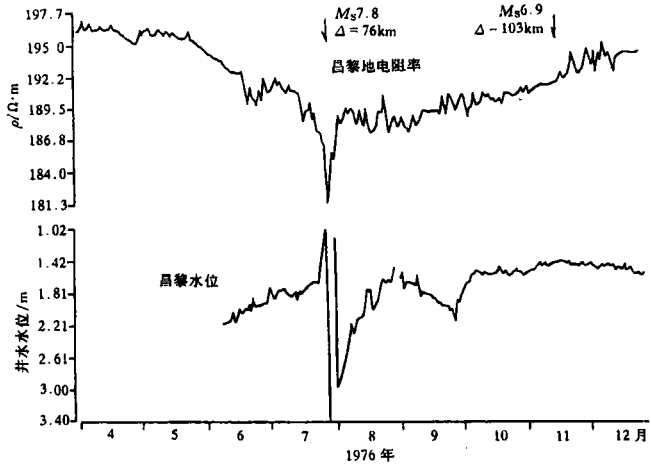


图 2 河北省昌黎后土桥地电阻率和水位日均值曲线

Fig. 2 Daily mean value curves of earth resistivity and water level at Houtu bridge station in Changli county, Hebei Province.

① 杜学彬, 等. 中国大陆地电阻率异常与地壳力学状态变化的关系(待刊, 1998).

总数的比例均大于24a的平均数(图3a,称为“异常高潮期”).部分台站于异常高潮期前或后1a显示异常,同一台站不同测道同步或不同步显示异常或不显示异常,同一台站或测道也并非在上述年份都显示异常,但其它年份异常台和测道所占比例均不高于平均数.按华北东北、西北和西南3个区分区进行统计,上述年份3个区异常高潮期同步,个别年份有差异(图3b、图3c、图3d).

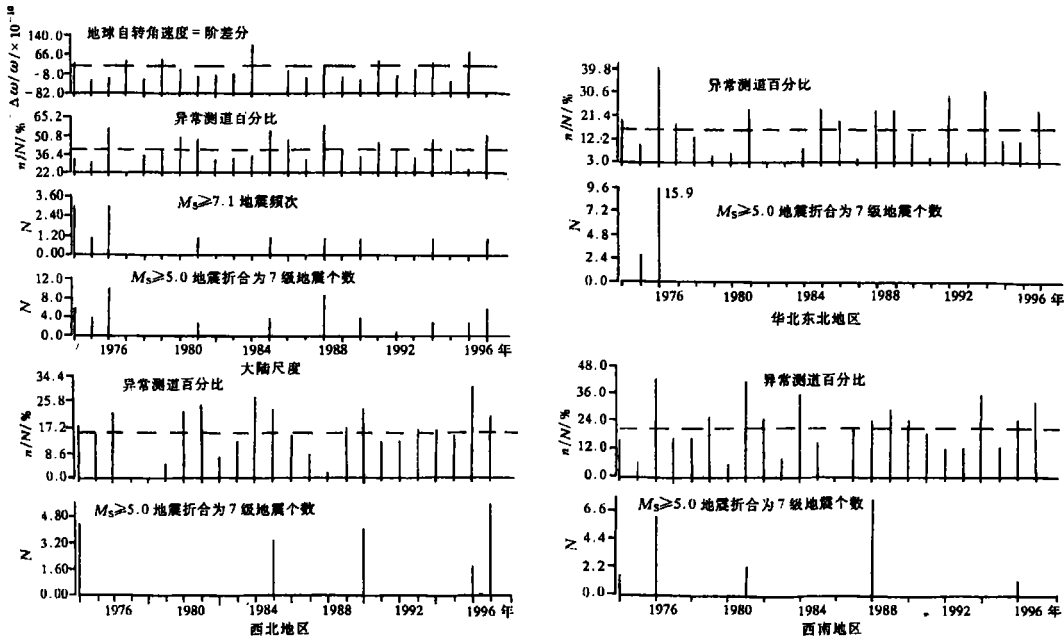


图3 地球自转角速度二阶差分、异常台和异常测道百分比、 $M_S \geq 7.1$ 强震频次和 $M_S \geq 5.0$ 地震折合为 $M_S 7.0$ 地震的频次

Fig.3 The second-order difference of earth rotation angular velocity, percentage of stations and measuring lines showing anomalies, frequency of $M_S \geq 7.1$ quakes and frequency of $M_S = 7.0$ quakes which are amounted to by $M_S \geq 5.0$ quakes.

n 异常测道数; N 总测道数

2.2 异常高潮期与大陆地震活动性和地球自转加速年份

逐年统计24a内中国大陆和周边地区($22^\circ \sim 45^\circ N$, $70^\circ \sim 125^\circ E$) $M_S \geq 7.1$ 地震(扣除余震、前震和海中及台湾海峡地震)的频次,绝大多数7.1级以上强震发生年份与异常高潮期同年份或滞后1a(图3a).逐年计算24a中 $M_S \geq 5.0$ 地震释放的能量,然后折合为若干个“7级地震”,这些地震主要发生在异常高潮期当年或滞后1a(图3a,1a中释放能量不到 $M_S 7.0$ 强震的未示),分区计算华北东北及邻区($35^\circ \sim 45^\circ N$, $110^\circ \sim 125^\circ E$)、西北及邻区($35^\circ \sim 45^\circ N$, $70^\circ \sim 110^\circ E$)和西南及邻区($22^\circ \sim 35^\circ N$, $95^\circ \sim 110^\circ E$)5级以上地震释放的能量,这3个区内“7级地震”主要集中在异常高潮期当年或滞后1a(图3b、c、d).只有1974和1996年例外(1974年以前台站少,异常识别受限制).

图3a为北京天文台观测的地球自转角速度相对变化的二阶差分图(第 $i+1$ 年的二阶差分值可以理解为第 $i+1$ 年相对于第 i 年板块碰撞的冲量的增量),1974~1996年23a中二阶差分值最大的是1974、1977、1979、1984、1988、1991、1994和1996共8个年份.显然,地球自转加速年份与大陆地电阻率异常高潮期对应,大陆及周边7.1级以上强震发生年份和“7级强

震”发生年份与异常高潮期对应(图 3a). 华北东北、西北和西南 3 个区异常高潮期与地球自转加速年份对应, 尽管地球自转加速年份和异常高潮期当年或滞后 1a 各区内并不完全对应发生“7 级强震”, 但 5 级以上地震释放 7 级强震能量的年份主要集中在异常高潮期当年或滞后 1a (图 3b、c、d).

2.3 认识与结论

(1) 地电阻率异常高潮期与地震活动性和地球自转加速年份对应, 证明地电阻率异常确实反应了地壳力学状态的变化(尽管地电观测对环境要求苛刻). 由图 3c 可见 1984~1985、1989~1990 和 1996~1997 年西北地区显示了突出的地电阻率异常高潮期, 图 4 是 1984~1998 年甘青交界地区门源地倾斜变化, 由图可见 1985~1986、1990 和 1996~1997 年地倾斜由原来的变化形态转为另一种长趋势变化形态, 这是对地电阻率反应地壳力学状态变化的佐证. 一次强震的孕育和发生是地壳大范围力学场调整变化引起地壳局部介质应力集中与释放的力学过程, 通过地电阻率观测是能够监测到地壳介质力学状态变化的, 因此前人把地电阻率方法引入到地震预报中的确有其实际意义.

(2) 全国范围异常高潮期起始年份与地球自转加速年份同步或滞后 1a 者占 85.7%; 华北东北地区占 75.0%; 西北占 85.7%; 而西南地区占 71.4%. 按 5 级以上地震能量累加(异常高潮期当年或滞后 1a 释放能量不到一次 7 级地震的不累加), 全国范围异常高潮期当年和滞后 1a 发生的“7 级地震”占 74.4%; 华北东北及邻区占 84.6%; 西北及邻区占

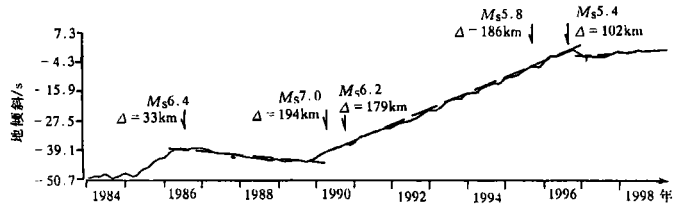


图 4 甘青交界门源地倾斜排除年变化的月均值曲线

Fig. 4 Monthly mean value curve of ground tilt from which annual variation is eliminated at Menyuan station between Gansu and Qinghai Provinces.

88.6%; 西南及邻区占 80.4%. 如果仅从 3 个区异常高潮期和释放“7 级地震”能量的年份来考虑, 华北东北和西北 100%、西南 80%的“7 级地震”发生在异常高潮期当年或滞后 1a. 这足以说明, 地球自转加速与地震活动性和地电阻率异常高潮期存在一定的因果关系. 参考《地电学分析预报指南》中震级-震中距之关系统计映震异常结果表明, 全国范围无震异常台年和测道年均占 1974~1997 年异常台年和测道年总数的 61.7%, 映震异常台年和测道年均占 38.3% (这部分异常也不见得完全是由地震引起的). 异常高潮期的异常比例与地震高能量释放并不一一呈正对应关系, 异常比例最高时地震释放能量并不一定最大. 这说明除了地震孕育、发生的力学过程引起异常外, 多数异常与地震存在同源异像关系, 即多数异常属于场兆, 显然地电观测场兆相当丰富.

(3) 地球自转加速幅度最大时, 相应高潮期的异常比例和 5 级以上地震释放能量并非一一对应最高, 同一台站的不同测道也并非个个显示异常. 分区统计, 尽管华北东北、西北和西南 3 个区异常高潮期与全国范围统计的异常高潮期基本同步, 主要集中在上述特定年份, 但各区之间对应年份异常高潮期异常所占比例存在差异性. 各区内, 异常高潮期并不一一对应发生“7 级地震”, 但释放 7 级以上地震能量的年份与区内异常高潮期和地球自转加速年份对应. 说明一个区域内强震活动或显示异常, 除了地球自转加速可能提供大尺度应力变化的背景外, 还与区域应力、介质条件和构造条件以及目前不得而知的诸多因素有关; 地壳力学状态变化使地电阻率显示异常或发生 7 级以上地震, 对介质力学状态变化的需求不同, 强震、中强震的孕育和

发生可能需要高应力积累和区域内的触发因素。

(4) 把中国大陆及周边地区以东经 105° 为界分为东西两部分,其西部中强以上地震活动水平明显高于东部。24a 中大陆及周边发生 13 次 $M_S \geq 7.1$ 强震(扣除前震、余震、台湾海峡和海中强震),其中 10 次 7.1 级以上强震发生在西部,东部 3 次。24a 中西部发生了 46.7 个“7 级地震”,东部发生了 21.8 个“7 级地震”。如不扣除前震和余震,大陆及其周边发生 $M_S \geq 7.1$ 强震 17 次,东部 4 次、西部 13 次。说明地球自转加速年份造成印度板块向北或北东方向碰撞推挤对中国大陆西部地震活动有重要影响(青藏块体可能也存在类似的积极作用)。释放 7 级以上强震能量的年份集中在异常高潮期当年或滞后 1a(特别是华北东北、西北和西南 3 个区),由此,地球自转加速和地电阻率异常高潮期可作为判断我国大陆和区域性地震大形势的依据之一。

3 两个方面研究结果的意义

就异常和预报研究而言,这两方面的结果在诸多方面可能给出一些有益的启示,概括为以下几个主要方面:

(1) 多年预报实践中,把异常与地震联系在一起似乎理所应当,没有更多地考虑地壳构造条件、台站分布、显示异常不发生地震以及强震附近还有台站不显示异常的实际,虚报率、漏报率相当高。由本项研究可见,地电阻率观测场兆相当丰富,绝大多数异常周围并不发生地震,而与区域性或更大范围内的强震、中强震活动属同源异像关系。另一方面同一台站近距离强震不显示异常,而远距离的某次强震却显示明显异常(这在以往震例中相当常见),从而给人们认识异常带来了模糊,往往去怀疑或否定映震异常,造成漏报。从本文来看,台站对周围地震显示异常与否主要取决于震源区及其周围的活动构造和不同强震的发震机制。两方面的结果较好地解释了异常不对应地震和强震震源区及周围台站不显示异常这种异常演变的复杂性。

(2) 地电阻率异常确实反映了地壳力学状态的变化,实际分析预报中不能轻易地由某台站上次近距离强震不显示异常而否定下次异常,造成漏报;地电阻率场兆相当丰富,也不能以“场”为“源”屡屡虚报。场兆可能对应大区域或更大尺度范围内的地震活动性,但也可能不对应地震,毕竟显示异常与强震孕育和发生所需求的应力水平不同。

(3) 地球自转加速幅度最大年份,相应高潮期异常比例和 5 级以上地震释放能量并非一一对应最高;同一台站的不同测道也并非个个显示异常。华北东北、西北和西南 3 个区异常高潮期主要集中在上述几个主要年份,但各区之间高潮期异常所占比例存在差异性。各区内异常高潮期并不一一对应地释放 7 级地震的能量,但释放 7 级以上地震能量的年份与区内异常高潮期和地球自转加速年份对应。说明一个区域内强震活动或显示异常,除了地球自转加速可能提供大尺度应力变化背景外,区域应力、介质条件和构造条件等也是重要因素。

(4) 地电、水化学、水动态、地应力和地形变 5 种前兆各自观测的物理量不同,多数研究把目前观测到的异常直接归因于应变,很难解释异常时空演化的复杂性,但把强震周围 5 种前兆观测结果与周围主要活动构造和强震发震机制联系起来,短临异常时空演化显示了与活动构造和发震机制有明显关系的时空演化规律,震源区外围异常时空演化也显示出与主要活动构造有明显关系的时空演化规律。其结果表明,5 种前兆异常时空演化与地壳结构、介质和力学场变化的不均匀性不无关系,强震孕育、发生和大范围力学场调整变化的力学过程是 5 种前兆显示异常的力源因素。同时,对异常时空演化特征和场源特征获得了新的认识和见解,对强震孕育、发生的过程有了新的理解,对场源变化以及非震变化有了较为明确的判别依据,对 5 种

前兆异常物理机制也获得了初步统一的解释.

(5) 提出强震周围 5 种前兆短临异常空间分布一般符合“异常—震源地点—发震机制—活动构造”之间的特定关系,不能孤立研究异常的新观点.这一特定关系对中国大陆历次强震重复性明显,基于这个关系,震源周围无异常台站空间分布也为判断强震地点提供了信息,提高了判断地震异常的信度.基于这个关系,由异常、无异常台站空间分布以及活动构造分布可能判断强震发生的具体地点;确定了地点要素,追踪空间上符合上述关系的异常时间演化可以缩小预报时间的尺度,同时根据未来地震区的构造条件、介质条件、历史地震以及异常演化提高震级预测水平.

4 两个方面研究结果的预报检验

客观地说,上述两个方面的结果其物理机制的研究相当薄弱.限于多方面的原因,目前主要获得了一些基本认识和肤浅解释,理论方面的深层次研究有待深入.

1997~1998 年对上述两个方面的研究结果进行了实际预报检验.全国有 60 多个地电台向兰州地震研究所报送观测资料,一般在观测后 1~2 个月方可收到资料,无法进行短临预报,但可作为 1a 或 0.5a 尺度中短期判断的条件.1997 年 6 月和 10 月、1998 年 6 月、9 月和 12 月笔者利用地电阻率月均值资料在全国地电台网内确定了 12 个中强以上地震危险区和注意区^{①~④},在预测时间段内有 9 个区在贫震背景下发生 10 次强震和中强震(表 1).图 5 给出了预测的南北地震带上的几次强震和中强震.

表 1 预报检验情况(1997~1999)

报告序号	预报地点	发震地点	预报时间	发震时间	预报震级	实际震级
1	雅砻江断裂以西渡口附近	雅砻江断裂以西宁蒗	1998-06~12	1998-11-19	$M_s 6.0$ 左右	$M_s 6.2$
2	通县-大兴-宝坻	宝坻东北 87km 处	1998 年度	1998-04-14	$M_s 5.0$ 左右	$M_s 4.7$
3	六盘山断层上景泰-海原一带(偏向海原)	六盘山断层上海原以西 30km 处	1997-10~1998-06	1998-07-29	$M_s 6.2$ 左右	$M_s 4.8$
4	临汾附近	临汾西南 130km 处	1998 年度	1998-07-11	$M_s 5.0$ 左右	$M_s 4.6$
5	六盘山断层上景泰 6.2 级地震与门源 6.4 级地震之间	六盘山断层上景泰 6.2 地震以西 3km 处	1998-06~09	1998-06-29	$5.0 \leq M_s \leq 5.5$	$M_s 4.2$
6	云南下关-洱源附近	洱源以北 65km 处	1997-10~1998-06	1997-10-23	$M_s 7.0$ 左右	$M_s 5.3$
7	101°~120°E, 楚雄与永仁之间	楚雄	1998-08~1999-02	1998-07-17	$M_s 6.3$	$M_s 4.9$
8	南天山近东西向构造上库勒勒附近	南天山近东西向构造上库勒勒以东 127km 处 库勒勒以西 290 km 处	1999-01-06	1999-01-30 1999-03-15	$M_s 6.0$ 左右	$M_s 5.6$ $M_s 5.6$
9	河北怀来-延庆附近	张北	1999 年度	1999-03-11	$5.0 \leq M_s \leq 5.5$	$M_s 5.6$

(重点 1~6 月)

注:表中所列 10 次地震中有 9 次在震前向兰州地震研究所预报部门提交震情分析报告,只有楚雄地震例外,由于当时刚完成震情分析报告后就听说该地震发生的消息,故未来得及提交报告.

- ① 杜学彬,等.全国地电异常分析及一年尺度地震预测.提交 1997 年 10 月 16~17 日兰州地震研究所召开的 1~3 年我国地震大形势研讨会,并在会上进行了交流.
- ② 杜学彬,等.甘肃省及其周围地区 1997 年下半年震情分析、判断.提交 1997 年 6 月 9~11 日兰州地震研究所年中震情会商会,并在会上进行了交流.
- ③ 杜学彬,等.南北地震带及京津唐地区震情判断意见.1998 年 6 月 1 日提交兰州地震研究所年中会商会,并在会上进行了交流.
- ④ 杜学彬,等.南北地震带近期震情形式判断.1998 年 8 月 17 日.

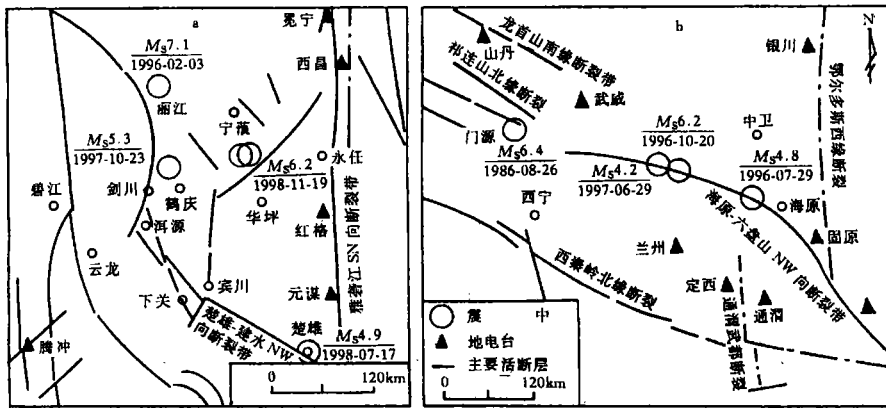


图5 预测的南北地震带中强以上地震

Fig. 5 The predicted moderate and strong earthquakes on the North-South seismic belt.

a 川滇地区; b 祁连山中东段

如表1所示,实际发生强震、中强震的地点和时间报准率已占70%以上(南天山近EW向构造上的两次5.6级地震算一次).7次地震地点判断基本上是准确的;3个区未发生中强以上地震,占30%以下,属虚报,4次地震的预报震级与实际震级偏差较大.笔者曾强调:据“异常-震源地点-活动构造-发震机制”之间的特定关系,可在一定程度上判断强震、中强震发生的具体地点和时间,不能确定具体震级^[7],实际预报结果恰恰也是震级偏差较大.依据表1的事实,震情判断有其客观性,同时也应该强调“异常-震源地点-活动构造-发震机制”之间特定关系的客观性,显然它对台网内强震发生地点和时间判断有实际意义,可以大大提高必震异常的判断信度.

应当指出,目前地电台密度低,台站分布不尽合理(应考虑活动构造来布设台站),对甘肃省外其它前兆观测资料一无所知,仅仅基于观测后1~2个月才收到的地电阻率变化资料进行判断,无法跟踪短临信息,这是分析预报中极不利的因素,也是宁蒗 Ms6.2、唐山 Ms4.7 和临汾 Ms4.6 等3次地震地点略有偏离的主要原因.如果能及时利用多种前兆综合分析,是可以进一步改善所预测地点和时间的精度的,此外异常相互印证也能提高必震异常的判断信度.

最后介绍一下其它几次震情判断结果:

1998年6月笔者在报告^①中认为,尽管张北6.2和唐山4.7地震后京津唐地区震情比较紧张,但根据京津唐地区地电阻率观测结果,北京及其周围150km范围内下半年不大可能发生 Ms5.0 以上地震,甚至不大可能发生4.0级以上地震,这一判断符合实际情况.

祁连山中东段是中国地震局和兰州地震研究所确定的1997年度6级地震危险区,1997年6月29日在景泰西发生 Ms4.2 地震后,笔者在兰州地震研究所召开的震情会商会上提出,本次地震后,不再考虑近期内该断层段发生5级以上地震的可能性.事实证明这一判断也是正确的.

1997年10月在兰州地震研究所召开的地震大形势研讨会和当年9月在成都召开的“95-04-01-01”专题交流会上,笔者提出在某些特定年份大陆地电阻率显示异常高潮期,异常高潮期主要集中在地球自转加速当年或滞后1a,大陆 Ms7.1 以上强震发生年份主要集中在异常高潮期当年或滞后1a,并且 Ms7.1 以上强震主要发生在西部.事实上,1996年地球自转明显

① 杜学彬,等.南北地震带近期震情形式判断.1998年8月17日.

加速,1997年全国52%的地电台显示1a尺度异常,当年11月西藏玛尼发生 $M_S7.5$ 强震,这与研究结果吻合。

参考文献

- [1] 梅因著,张天中译.地震预报有物理基础吗?[J].国际地震动态,1997,(12):28~29.
- [2] 郭增建,秦保燕.震源物理[M].北京:地震出版社,北京,1979.
- [3] 马宗晋.华北地壳的多(应力集中)点场与地震[J].地震地质,1980,2(1):39~47.
- [4] 杜学彬.大陆中、强地震地电阻率临震突变及其时空分布讨论[J].地震,1992,(6):51~59.
- [5] 杜学彬,赵和云,陈宝智.地电阻率临震突变与活断层、发震应力场[J].地震学报,1993,15(3):303~312.
- [6] 杜学彬,赵和云,陈宝智,等.景泰6.2级地震地电阻率变化特征[J].中国地震,1992,8(3):28~35.
- [7] 杜学彬,阎志德,邹明武.景泰6.2级地震震源动力学过程[J].地震学报,1994,16(3):296~303.
- [8] 杜学彬,刘耀炜,倪明康.强震地下水动态中短临异常空间特征研究[J].地震学报,1997,19(4):426~433.
- [9] 杜学彬,李步云,刘耀炜.1995年永登5.8级地震多种前兆异常特征[J].西北地震学报,1997,19(4):19~24.
- [10] 杜学彬,张新基,张慧.中国大陆水氧短临异常空间特征研究[J].地震学报,1996,18(3):358~364.
- [11] 杜学彬,陈有发,阮爱国,等.祁连大地电场变化与地震[J].西北地震学报,1994,16(3):84~87.
- [12] 李步云,杜学彬,陈志泰.青海省祁连克克里5.1级地震主应变比分析[J].地震,1996,(4):409~416.

STUDY ON MANY KINDS OF PRECURSORY ANOMALIES AND TRIAL PREDICTION OF STRONG EARTHQUAKES IN THE CONTINENT OF CHINA

DU Xue-bin¹, REN Guang-jun², XUE Shun-zhang¹

(1. Lanzhou Institute of Seismology, CSB, Lanzhou 730000, China;

2. Teachers Training School of Linyi, Linyi 276005, China)

Abstract

The time-space evolutions of the short-impending anomalies of the five kinds of precursors which include geoelectricity, hydrochemistry, ground water behavior, ground stress and ground deformation around a strong earthquake are depended upon the active master structures and the generating-earthquake mechanism. The evolutions of the far-field abnormalities of the precursors are related to the structures and the abnormalities at different structures have the diversity of evolutionary time. In some particular years one-year scale anomaly of earth resistivity demonstrates the anomaly fastigiums which are synchronous with the years when energy of $M_S \geq 5.0$ earthquakes is up to that of a $M_S = 7.0$ earthquake or are delayed one year. The fastigiums and the years are fairly corresponding to the years of the acceleration of the earth rotation. According to the research results of the two respects, 12 strong and moderate earthquakes are predicted so that 10 shocks of them occurred in the predicted area and the predicted time interval (a half year or one year time interval). The sites of seven shocks are basically exactly predicted and those of three shocks are fairly exactly done.

Key words: Land-quake; Earthquake prediction; Earth rotation; Earthquake mechanism; Active structure