

海原5.5级地震前兆异常特征及预测预报的经验教训

海原5.5级地震是宁夏地区开展前兆观测工作以来，在台网控制范围内发生的震级最大的一次地震。在震中周围150公里范围内，共设有七个观测台站（包括专业台站及县办台站）。震后搜集到的前兆异常可分为短临异常和趋势异常两类。

1. 短临异常特征

(1) 水氡短临异常

西海固地区共设有七个专业和县办水氡观测站，震前有明显短临异常反应的台站是：固原、西吉、隆德和寺口子台（图2、图3）。

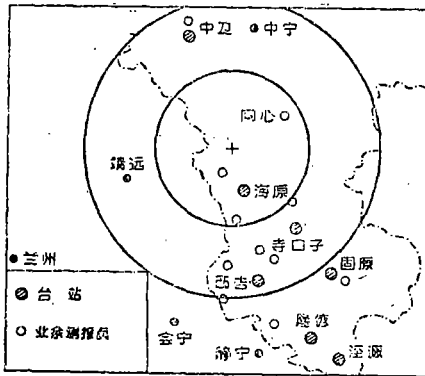


图1 西海固地区前兆台网分布图

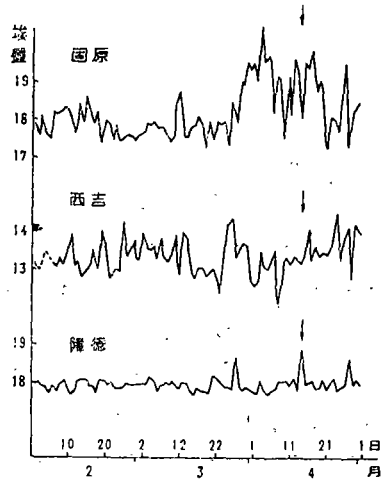


图2 固原、西吉、隆德台水氡逐日变化曲线

固原地震台距震中110公里，其水氡异常最明显。该台水氡基值均为17.79埃曼，平时工作状况较好。今年3月26日开始在原来的趋势背景上出现幅度较大的上升变化。震前11天即4月3日达最高值20.42埃曼，最大变幅为15%。之后继续在19埃曼高值上下跳动，地震当天出现突跳式下降，震后又回到高值，持续到4月21日恢复。此后又于4月28日至5月11日、5月14日至5月24日出现两个高峰。这两次高峰值与震后固原附近小震活动有很好的对应关系。

西吉台距震中85公里。自今年3月15日开始，水氡连续八天出现低值，然后转为上升。但变化幅度均不大，在震前五天出现单点突降，幅度约为10%。

隆德台距震中136公里，氡泉系长期定时抽水泉，氡值一直不稳。5.5级地震当天氡值出现幅度达5%的单点突跳，突跳幅度之大是该台过去很少发生的。但由于14日上午停电，水样在震后才分析，未能及时作出预报。

距震中65公里的寺口子水氡短临异常出现较早。1980年12月20日左右氡值大幅度升高，1982年1月11日上升至最高值77.94埃曼，高出正常值58埃曼之多。然后突降到基值（20埃曼）附近。此后又出现三次高峰，但幅度一次比一次低，到3月20日后恢复到基值。该台水氡出现最大高值时，曾将该台水样拿到固原台校验，复测结果说明数据是可靠的。

（2）地下水位短临异常

西海固地区八个专群地下水位长期观测井孔在震前有七个井点有异常反应。其水位变化曲线按震中距排列绘于图3中。

从异常形态上看，新营和蒙宣两井变化形态基本相似。蒙宣井水位上升从3月24日开始，上升后基本维持平稳，幅度约20厘米。新营井水位从4月6日开始上升，幅度约23厘米，震前一天突然下降22厘米，然后恢复高值后发震。

西吉台浅井异常从3月20日开始，经过两次上升变化。地震发生在第二次上升过程中。上升最大幅度约20厘米。

兴隆浅井水位从2月15日开始上升，曲线呈三个锯齿形，幅度一次比一次高，突跳一次比一次陡，最大幅度约18厘米。3月23日突然降至正常低值水平并基本保持平稳。

位于东南端的固原师范浅井和隆德浅井，震前水位出现凹形负异常。异常幅度均不大。隆德井从4月1日到4月5日形成幅度约10厘米的漏斗。固原师范浅井水位采用自记仪记录，水位在震前5天出现负异常变化，但幅度仅有3厘米左右。

沙岗子1°深井在地震当天07—08点出现突跳，上升3厘米。

另外，据震后调查，位于震中36公里的南华山马场水井地震当天水位上升约20厘米左右，震后恢复。

西海固地区属于干旱和半干旱山区。按照当地正常水位动态规律，元月份之后，水位呈缓慢下降，直到六月份以后才开始回升。但今年2月份后位于不同测点的井水水位出现背离正常动态规律的反常变化。去年以来，西海固干旱，震前无降雨，这种反常变化不可能用干扰加以解释。因此，地下水位的变化可能是受地点影响造成的。

这次地震前，地下水位异常呈现出与该地震P波初动相一致的象限分布特征（图4）。

（3）地电的短临异常

震区周围约140公里范围内的四个视电阻率观测台中只有西吉台观测到明显的视电阻率临震异常。该台采用四极对称布线，A B长900米，MN长300米。测区下伏地层为第三系粉砂岩。电阻率基值约8.65Ω·M左右。从3月11日开始，北西60°方向测线视电阻率开始上升，3月28日上升至最高值9.05，然后逐渐下降，震前两天恢复到基值（图5）。异常最大变幅

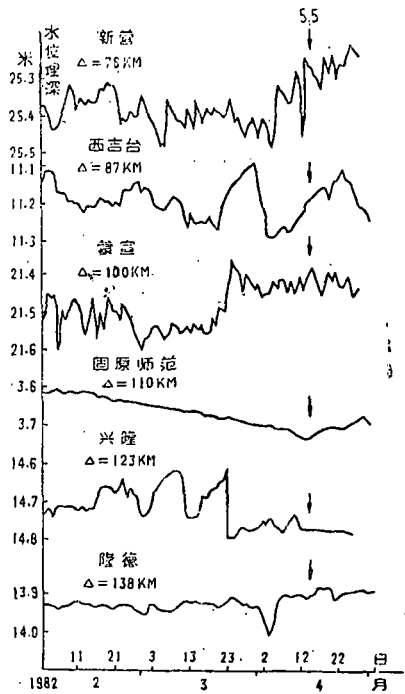


图3 西海固各测点地下水位逐日变化曲线

为4.6%，另一道临震前保持不变。

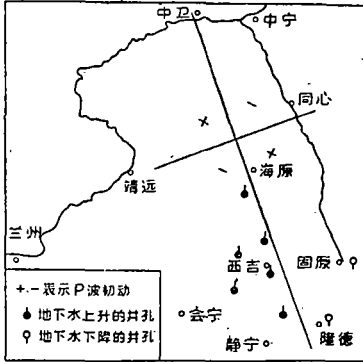


图4 地下水位异常的象限分布特征

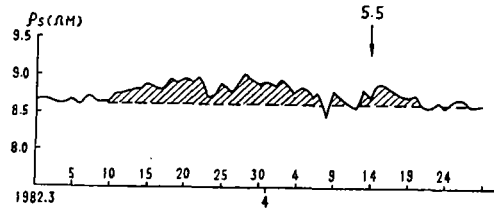


图5 西吉台视电阻率逐日变化曲线

综上所述，这次海原5.5级地震的短临异常有如下几个特点：

异常显示的时间以寺口子水氡最早，是在震前三个半月左右出现的。大部分短临异常在震前一个月左右开始集中现出，具有多台、多手段，在时间上同步显示的特点。

微观短临异常的空间展布比较集中，并显示出与该区地质构造密切相关的特点。这次地震发生在1920年海原大地震极震区的北部边界，其短临异常主要沿南、西华山—六盘山活动构造带的东南端即西吉、固原、隆德一带分布。由于此处是弧形构造的转弯部位，应力容易集中，能够产生较明显的异常反映。

短临异常分布在距震中大约100公里的范围内。震中区附近短临异常不明显。距震中最近的海原地震台前兆手段均无异常反应。震中区群测点的各种观测手段也未记录到微观前兆异常变化。

地震发生后，部分短临异常存在震后效应，如固原水氡、西吉视电阻率、西吉地下水等异常未马上恢复。西吉和隆德水氡震后又出现了新的突跳。这些震后效应的存在表明震后应力调整造成局部应力集中。

2. 趋势异常特征

(1) 水氡

西海固台网中的七个水氡观测点中，西吉、海原、固原、隆德及邻近的中卫等五个台站均存在长达一年以上的趋势异常变化。为了便于对比，按震中距大小排列，将1979年以来各台水氡月均值曲线绘于图6中。从图中可以看出，异常表现出明显的同步性和阶段性。距震中最近的海原台水氡异常出现最早，大致从1979年10月开始，先呈现下降变化，从1980年3月开始呈现上升的趋势，1981年

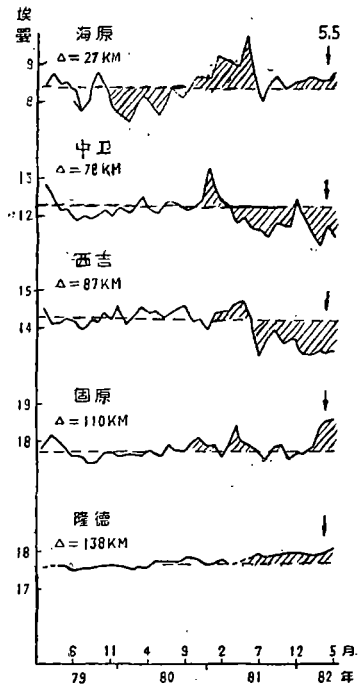


图6 部分台站水氡月均值曲线

5月上升到最高值9.75埃曼。其他台异常在1980年6月前开始，各台水氡均有明显同步加速转折变化。海原、固原水氡下降，西吉、中卫水氡在下降后形成负异常，隆德氡值升高。1981年7月以后，各台水氡值先后大体上同步转平。中卫

台氡值自1980年开始显示较明显的年变化。图上的两个高峰可能是年变造成的，考虑到年变影响，1981年7月后的一段应为异常平稳阶段。

水氡趋势异常幅度显示出与震中距有关。震中距小的海原台变化幅度最大，约为15%；西吉和中卫两台的震中距大致一样，异常幅度也基本相同，约为-6%；距震中最远的隆德台上升幅度仅有3%。

(2) 视电阻率

图7给出了海原、中卫、西吉三台视电阻率趋势异常逐月变化曲线。这三个台分别位于震中两侧并大体与震中在一条直线上。海原台供电极距AB(南北道)为1200米，东西道极距为1024米，由于台址条件比较差，存在明显的年变化(年变幅度最大可达7%)。但曲线总的趋势是从1980年开始两道逐渐下降，1981年下半年开始又出现平稳的正常变化形态，南北道异常更明显些，1980年到1981年的下降过程中年变形态破坏，高点值基本消失，异常幅度大约在-4%左右。1981年3月31日同心4.4级地震之后，中卫台两道电阻率测值同步加速下降，自1981年6月，东西道变幅已达-17%，南北道变幅-13%，6月份以后，又有幅度不大的回升，并分别维持在11.8和11.3的平稳水平。西吉台视电阻率异常开始于1980年10月，北东道下降，1981年2月开始回升，到5月已回升到正常水平，形成七个月的凹形负异常，幅度约-2.8%。北西道电阻率基本显示正异常，1981年6月以前上升速度较快，6月以后变化转为平缓，北西道趋势异常幅度约3.8%。

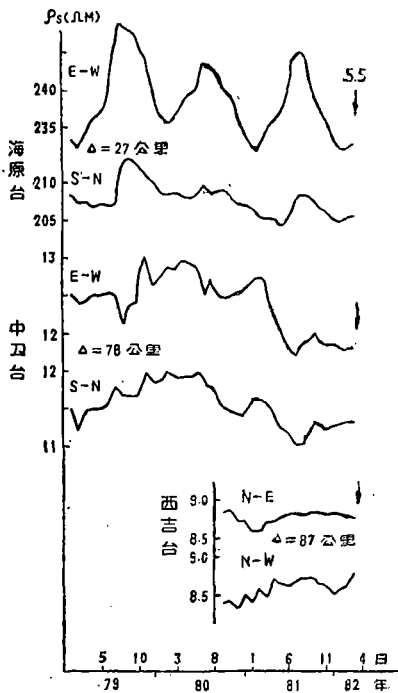


图7 部分台站视电阻率月均值曲线

震前视电阻率的趋势异常可概括为下述特点：

视电阻率趋势异常明显地受台址条件的制约，其异常幅度与震中距的关系不像水氡异常那样明显。海原台位于覆盖较厚的砾石层上，距震中最近而异常量最小。中卫台为低阻型剖面且电极距大(AB=1500米)，对地震有较好的反映。例如1976年6月28日距该台25公里的永康发生一次4.6级地震，震前视电阻率出现幅度超过15%的下降。这次地震异常量相对其他台也是最大的。说明该台电性对应力的变化是相当敏感的。西吉台也属于低阻型剖面，这次地震前也有较好的反应。这次地震前视电阻率异常仍以负异常为主。以上3个台站的6条曲线中，只有西吉台北西道视电阻率出现以上升为主的正异常。视电阻率异常表现出类似于水氡异常的转平特征，转平时间大部分在1981年6月份以后。

(3) 地下水

西吉县沙岗子I^{*}观测井采用水位自记仪连续记录，井孔水位具有三年周期变化，正常水位变化幅度约25厘米。1981年水位出现异于常规的趋势上升，到震前累计上升23厘米。

(4) 地倾斜

震前只有中卫台记录到倾斜异常。该台倾斜常规变化形态是向东南方向倾斜，呈“反S”型。1981年8月开始向东偏北方向反常变化，表现出U形变化形态(图8)。今年三月

份又转为向东南正常变化。地震是在异常转为常规形态时发生的。

(5) 流动重力异常

宁夏南部地区流动重力测量结果表明，中宁—瓦亭桥、平凉—静宁、草庙—西吉、海原—静宁几条重力剖面在1980年—1981年7月间曾出现较长时间的异常，其变化幅度在140微伽左右(图9)。表明该区地壳深部在此期间发生了某种较强烈的变化，密度较大的物质上涌，造成重力值升高，幅度均超过三倍均方差。将重力变化与水氡、电阻率异常对比，显示在时间上是一致的。今年5月测量，发现异常普遍恢复到正常值附近(图中虚线表示震后测量结果)。

综合上述，对这次地震的趋势异常有如下几点认识：

震中附近异常出现得最早，大约在1979年底到1980年初，异常时间为2—2.5年。位于距震中80公里以外的异常大约在1980年10月以后开始有所显示，异常时间为1—1.5年。各手段异常均在1981年6月前有明显的转折，然后同步转平。异常空间分布范围大约距震中150公里。趋势异常范围比短临异常分布范围大(图10)。

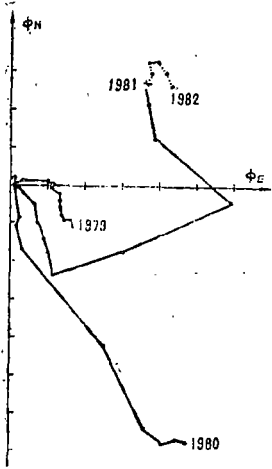


图8 中卫台倾斜角年变失量图

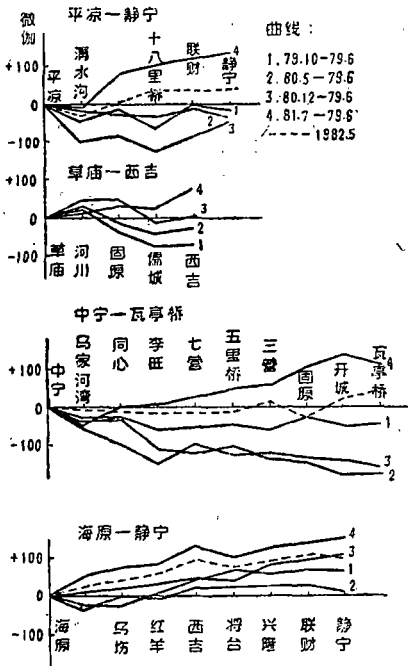


图9 流动重力测线剖面变化图

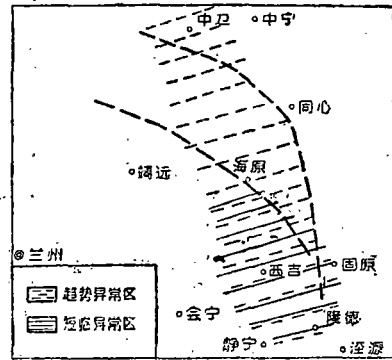


图10 趋势异常与短临异常分布区域示意图

3. 孕震过程的初步分析

我们认为这次地震的孕育大体经历了四个阶段：

(1) 这次地震的孕育至少从1979年10月以前就已开始，这时震中区应变积累已达到了某一阈值，引起位于震中近旁的海原台首先出现水氡和电阻率异常。此后，随着应力场的逐渐加强，位于震中外围的台站的前兆异常也陆续有所显示。

(2) 1981年6月前后, 应力进一步向震源区集中, 並发生了一次时间较短(约1—3个月)的加速调整, 各种前兆异常几乎同时发生转折, 然后转平。

(3) 震前一个月左右, 应力场在临近发震时产生了加速调整並加强, 这个调整过程很可能以南、西华山—六盘山断裂为主, 造成沿该断裂带的东南段各测点地下水、水氡、视电阻率等异常成群出现。

(4) 在主震发生后, 西吉—固原一线前兆没有很快恢复, 说明该区应力释放不充分, 剩余应力可能在这一带形成相对的局部集中。

另外, 这次地震前兆主要沿该区主要断裂带分布的特征表明, 这次地震的孕育过程受该区主要构造带的影响。1920年海原大震后, 主干断层不再大规模地积累应变, 而是在大区域应力场作用下发生缓慢蠕动, 可能使存在于该区域较小规模的次级构造受其牵动而积累能量, 造成一些中强地震的发生。

4. 关于预测预报问题的几点认识

(1) 海原5.5级地震前兆异常数量多, 幅度大, 时间上显示同步性和阶段性, 空间分布上有规律, 表明该区的中强地震是有前兆的。

关于这次地震, 宁夏地震研究所曾于1981年12月根据部分前兆资料的异常和地震活动性指标作过中期背景估计, 认为1982年宁夏地区存在发生5级地震的背景。1982年3月份以来, 固原水氡、西吉台视电阻率、隆德和西吉台地下水位出现同步异常变化, 空间分布又比较集中, 据此, 宁夏地震研究所分析预报室在4月8日会商会上提出“本周内西海地区及邻区可能发生3.5级左右地震”的内部预测意见。

(2) 从这次地震前各手段所反映的情况看, 水氡、视电阻率、地下水三种观测手段震前异常较为突出, 说明在西海固地区开展以上三种手段观测对于预测该区地震是有利的。今后应加强这方面的工作, 深入研究异常的区域性特点, 使台站前兆手段的配备更合理、更完善。

另外, 各种前兆手段应能形成各自的区域性观测网, 这对于资料的对比以及分析异常的大范围特征是必要的。

(3) 在预报方法上, 应加强长、中、短、临四个方面的配合。预报时, 对震级估计偏低的一个重要原因是震前对已经存在的趋势性异常的分析 and 讨论不够。因此, 在作出震情判断时, 一方面要加强对短临异常的分析 and 判断, 同时还要结合异常的趋势性变化。

(4) 综合预报是解决地震预报的正确途径。由于各前兆手段异常产生的机理各不相同, 它们对地震三要素的反应情况也不一致。宁夏地区台网的水氡突跳对发震时间的预报较好, 对较小的地震存有一定程度的反应。视电阻率对于四级以下地震几乎无反应, 但对较大地震确实表现出较好的趋势变化。而地下水的变化则因分布区域不同而不同。位于干旱和半干旱山区的地下水对地震反应可能比灌溉区域更好些。所以结合各前兆手段的特点, 采用多因子综合判断, 可能更适于做出较准确的预报。

(宁夏回族自治区地震研究所 杨明芝 张文孝)

参 考 文 献

[1] 国家地震局兰州地震研究所、宁夏回族自治区地震队, 一九二〇年海原大地震, 地震出版社, 1980.