

## 地震监测预报

地震预报（ Seismological forecast ）包含两方面的含义。

一是地震预测，指人们用科学的思路和方法，通过对资料的分析判断和理论研究，对未来地震（主要指强烈地震）的发震时间、地点和强度（震级）做出估计。地震的发震时间、地点和强度（震级）称为地震三要素。

地震预测是科学家行为，允许科学家提出不同见解，允许有不同意见的争论，这些都属于对地震科学的研究探讨。

二是地震预报，指政府根据科学家的地震预测，综合考虑社会政治经济影响，向社会正式发布对未来破坏性地震发生的时间、地点、震级及地震影响的预测。

地震预报是政府行为，是建立在科学家对地震的预测建议基础上的，具有很强的社会约束性。

## 我国地震监测预报的历史

我国是世界上大陆地震最为频繁，地震灾害最为严重的国家，也是对地震现象记录和研究最早的国家。公元前 23 世纪（ 4300 多年前）就开始有了地震现象（受灾地点、范围、破坏情况、地震前兆现象、对地震成因和地震预报的探索）的记载，并发明和制造了世界上第一台观测地震的仪器——候风地动仪等等，对地震的观察、记载和研究堪称世界之最。

地震预报工作的广泛开展和研究则是从 1966 年河北邢台大地震之后开始的。通过四十多年的研究和实践，不仅积累了丰富的地震前兆资料，加深了对地震前兆异常表现特点的认知，而且，摸索出了一套地震预报的思路和程序。继辽宁海城地震成功预报后，对中国大陆 28 次地震做出了一定程度或比较成功的预报，使中国地震预报水平领先世界，成为联合国教科文组织认定的唯一对大地震做出过成功短期临时预报的国家。

我国目前地震预报水平的状况可以概括为：我们对地震孕育发生的原理、规律有所认识，但还没有完全认识；我们能够对某些类型的地震做出一定程度的预报，但还不能预报所有的地震，我们做出的较大时间尺度的中长期预报已有一定的可信度（准确率大概是 30% 左右），但短临预报的成功率还相对较低，离社会需求还有很大距离。

回顾我国地震监测预报工作的发展进程，从时间上可大体将其划分为 4 个阶段。

### 第一阶段：萌芽阶段（ 1900—1948 年）

随着国外地震观测技术的发展及其对中国产生影响的日益增加，一些接受西方教育的专家开展了地震观测、地震考察等工作。

建立一批地震台站，利用地震仪器测报地震。如 1897 年在台南、台中、台东等 8 个地点建立了区域地震台网。 1904 ~ 1930 年在大陆陆续建立了上海徐家汇、大连、营口、青岛、北京地震台，其中北京鹫峰地震台是 1930 年我国地震学家李善邦先生创建的中国第一个地震台（图 6.1 ），地震仪采用照相记录（图 6.2 ），记录地震多而准确，并参与国际资料交流。

开始了地震预报的探索和研究。观测到一些地震前的异常现象，开始研究地震发生的时间规律及水位、地倾斜、潮汐和气压变化触发地震问题、地震与纬度变迁的关系、地震与地磁的关系、地震与天文现象的关系、震前动物异常等等。并撰写论文阐述地震的成因、地震的强度和震区、前震和余震、地震的预知和预防等问题，

### 第二阶段：初期阶段（ 1949—1966 年）

这一时期地震学家的主要工作是为地震预报工作的进一步开展奠定了初步的基础。特别是由于全球大地震陆续在一些大城市附近发生，造成了程度不等的严重破坏，引起有关国家的政府和科学家对地震问题的重视。

我国首先于 1953 年成立“中国科学院地震工作委员会”；收集、整编中国地震历史资料，出版了两卷《中国地震资料年表》、两集《中国地震目录》；制定了适合中国国情的“地震烈度表”和“历史地震震级表”，并编制了“大地震等震线图”。

其次是在 1957 ~ 1958 年建立了国家地震基本台网，开展了地震速报业务，并开始了区域地震活动性的研究。首次对新丰江水库进行了地震预报预防研究与实践的试验，取得了在特定条件下的成功预报，使人们增强了预防意识、看到了地震预报的曙光。

1958 年 9 月中国科学院地震预报考察队赴西北地震现场对地震前兆现象进行了调查，总结的前兆现象，不仅在当时，而且对以后地震预报工作也有重要科学价值。成为探索短期预报的第一次重要的科学实践。 1963 年地

球物理学家傅承义（图 6.3）撰写了《有关地震预告的几个问题》，指出“预告的最直接标志就是前兆，寻找前兆一直是研究地震预告的一条重要途径”。同时也指出：“地震预告是一个极复杂的科学问题”。

### 第三阶段：大发展阶段（1966—1976 年）

1966 年的邢台地震不仅标志着我国进入了第 4 个地震活动期（表 6.1），而且，由于社会、政府和人民的需要，极大地推动了我国地震监测预报工作的发展。

表 6.1 1966—1976 年大陆地区发生的 7 级以上地震

序号	发生时间	震中	震级	预报情况
1	1966 年 3 月 22 日	河北邢台宁晋县东南	7.2 级	
2	1969 年 7 月 18 日	渤海	7.4 级	
3	1970 年 1 月 5 日	通海	7.8 级	
4	1973 年 2 月 6 日	四川炉霍	7.6 级	
5	1974 年 5 月 11 日	云南大关	7.1 级	
6	1975 年 2 月 4 日	辽宁海城	7.3 级	长、中、短、临成功预报
7	1976 年 5 月 29 日	云南龙陵	7.4、7.3 级	
8	1976 年 7 月 28 日	唐山	7.8、7.1 级	
9	1976 年 8 月 16、23 日	松潘	7.4、7.2 级	较成功的短临预报
10	1976 年 11 月 7 日	四川盐源—云南宁蒗	6.4 级	较成功的短临预报

1966 年 3 月 8 日河北邢台地区隆尧县发生 6.8 级地震，3 月 22 日又在宁晋县东南发生 7.2 级地震，这两次产生巨大灾难的地震的发生引起了国家的高度重视，在已故周总理的亲临号召下科学工作者抓住邢台地震现场不放，开展预报实验，边实践、边预报。不仅在现场首次预报了 3 月 26 日的 6 级强余震，而且，在长期的地震预报实践中逐渐建立了地震预报的组织形式与发布程序，为后来的地震预报体制的建立提供了经验；并且初步形成长、中、短、临渐进式预报思路。

1975 年 2 月 5 日辽宁海城 7.3 级地震的成功预报实践，不仅大大地激励了中国地震学家的研究热情，也给世界地震学界带来了极大鼓励。同时，推动了全国范围的地震群测群防活动的广泛开展。使得地震预报事业得到了空前的发展，奠定了地震监测手段和预报方法的研究基础，进一步推进了地震孕育和发生规律的科学研究所。

### 第四阶段：全面开展阶段（1977 年至今）

中国大陆 1976 年以后出现了 10 多年的强震活动较弱的时期，这一方面，给人们提供了一个总结、研究、提高的机遇；另一方面，随着科技水平的提高、先进技术和理念的应用使地震监测预报工作得以全面开展、深入研究有了坚实的基础；提出了综合预报的思想，建立了系统化、规范化的地震预报理论和方法。

1983—1986 年开展了地震前兆与预报方法的清理攻关工作，对测震、大地形变测量、地倾斜、重力、水位、水化、地磁、地电、地应力方法预报地震的理论基础与观测技术、方法效能做出了评价；对各种常用的分析预报方法的预报效能做出初步分析，为地震综合预报提供必要的依据；提出了一些新的预测方法以及利用计算机分析识别地震前兆的设想，为我国前兆观测和地震预测研究打下了良好的基础。

1987—1989 年开展了地震预报的实用化攻关研究。通过对 60 多个震例资料的系统分析和对比研究，形成了各学科的、综合的、有一定实用价值的地震分析预报方法。同时，也将专家们的地震预报经验进行了高度概括和总结，并建立了三个地震预报的专家系统。系统科学（如信息论、系统论、协同论、耗散结构论、非线性理论等）也开始应用于地震预报。使中国地震预报水平跃入国际先进行列乃至国际领先水平，在世界地震预报领域引人注目。

20 世纪 90 年代以来，随着高新技术在地球科学中的应用，特别是空间对地观测技术和数字地震观测技术的发展，给地震预测预报研究带来了历史性的发展机遇。地震学家们以新一代的数字观测技术为依托，开展了大陆强震研究、逐步实施了以地球科学为主的大型研究计划，为地震预报研究提供了大量的资料。同时，不仅从预测

理论、模型、异常指标、预测方法以及物理机制等多个方面进行研究，而且，紧随计算机和网络技术的发展和普及研制出一批地震预报的工具软件、对台站进行了数字化改造（图 6.4）、建立了地震观测台网（图 6.5）。

## 地震前兆现象

地震和刮风下雨一样，都是一种自然现象，在它来临之前是有前兆的，特别是强烈地震，在孕育过程中总会引起地下和地上各种物理及化学变化，给人们提供信息。我们把地震前，在自然界发生的与地震孕育和发生相关联的现象称之为地震前兆（Seismic precursor）现象。

我国古代人民在长期实践中，早就开始认识到地震是有前兆的，并留下了丰富的关于地震前兆的记载。如古书《隆德县志》上就记载了古人总结的六种地震前兆现象，称为“地震六端”，对地震前的天气异常，海啸、地光、地震云等前兆都作了精辟的概括。

“地震六端”：

井水本湛静无波，倏忽浑如墨汁，泥渣上浮，势必地震；  
池沼之水，风吹成荇交萦，无端泡沫上腾，若沸煎茶，势必地震；  
海面遇雨，波浪高涌，奔腾汹涌，此常情；若日晴和，台飓不作，海水忽然绕起，汹涌异常，势必地震；  
夜半晦黑，天忽开朗，光明照耀，光异日中，势必地震；  
天晴日暖，碧空清净，忽见黑云如缕，蜿蜒长蛇，横亘空际，久而不散，势必地震；  
时置盛夏，酷热蒸腾，挥汗如雨，蓦觉清凉，如受冰雪，冷气袭人，肌为之栗，势必地震。

现代地震科学的深入研究表明，地震之前确实存在多种多样的前兆现象。自 1966 年邢台地震以来，我国已在 100 多次中强以上地震前记录到 2000 多条前兆现象。

由于地震的孕育和发生是很复杂的自然现象，因此在这个过程中将会出现地球物理学、地质学、大地测量学、地球化学乃至生物学、气象学等多学科领域中的各种前兆现象，即地震前兆具有丰富，多样和综合的特点。常见的地震前兆现象有：（1）地震活动异常；（2）地震波速度变化；（3）地壳变形；（4）地下水异常变化；（5）地下水中氡气含量或其它化学成分的变化；（6）地应力变化；（7）地电变化；（8）地磁变化；（9）重力异常；（10）动物异常；（11）地声；（12）地光；（13）地温异常等等。

通常根据人的感官所能觉察的情况把这些前兆现象分为宏观前兆和微观前兆两大类。

6.2.1 宏观前兆 人的感官能直接觉察到的前兆现象称为宏观前兆，即指人们可以听到、感觉到的前兆现象，例如地声、地光、地下水异常、动物异常等等。

地声与地光 —— 大地震前大自然向我们发出的警报。1966 年苏联塔什干发生地震前，一位工程师“听到左方传来发动机隆隆的响声，同时闪现出耀眼的白光，晃得睁不开眼，持续了 4.4 秒种，接着地震来了，差点把他摔倒在地上。地震过后，光也就暗下来了。”

地声。在地震前数分钟、数小时或数天，往往有声响自地下深处传来，人们习惯称之为“地声”。如 1830 年 6 月 12 日河北磁县 7.5 级大震震前人们听到地声如“雷吼”、如“千军涌溃，万马奔腾”。据调查，距 1976 年唐山 7.8 级地震震中 100 公里范围内，在临震前尚没入睡的居民中，有百分之九十五的人听到了震前的地声，如在河北遵化县、卢龙县，很多人在 27 日晚 23 时听到远处传来连绵不断的“隆隆”声，声色沉闷，忽高忽低，延续了一个多小时；在京津之间的安次、武清等县听到的地声，就像大型履带式拖拉机接连不断地从远处驶过；据人们回忆，在剧烈的地动到来前半个小时到几分钟内，震区群众听到了不同类型的地声：有的听来犹如列车从地下奔驰而来，有的如狂风啸过，伴随飞沙走石、夹风带雨的混杂声，有的似采石放连珠炮般声响，在头顶上空炸开，或如巨石从高处滚落，这奇怪的声响和平日城市噪声全然不同。

根据地声的特点，能大致判断地震的大小和震中的方向。一般说，如果声音越大，声调越沉闷，那么地震也越大；反之，地震就较小。当听到地声时，大地震可能很快就要发生了。

地光。指大地震时人们用肉眼观察到的天空发光的现象。地光的颜色很多，有红、黄、蓝、白、紫等，以白里发蓝的为多；其形状不一，有的呈片状或球状，也有是电火花似的。地光在空中持续的时间一般为几秒到数分钟之间，很短，瞬时即逝。地光在地表上空的高度一般为几米到几十米不等。如 1975 年 2 月 4 日我国海城、营口发生 7.3 级地震前，东自岫岩，西到绵县，北起辽中，南到新金，整个震区有百分之九十的人都看到

了地光，近处可见一道道长的白色光带，远处则见到红、黄、蓝、白、紫的闪光；此外，还有人看到从地裂缝内直接射出的兰白色光，以及从地面喷口中冒出粉红色火球，光球像信号弹一样升起十几公尺到几十公尺后消失。1976年5月29日20时23分和22时在云南的龙陵、潞西一带发生7.5级与7.6级两次强烈地震前，地震值班员观察到震区上空出现一条橘红色的光带。1976年7月28日3点42分河北的唐山、丰南一带发生7.8级大震前，从北京开往大连的129次直达快车，于3点41分正经过地震中心唐山市附近的古冶车站时司机发现前方夜空像雷电似的闪现出三道耀眼的光束。

地光发生的原因有人认为是地震前地电和地磁异常，使大气粒子放电发光所致；也有人认为是放射性物质的射气流从地下的裂缝中射出，在低空引起大气电离，因而发光。尽管原因还没有彻底清楚，但由于地光有时出现在大震之前，因此它是临震前的一种前兆现象，可以用来进行临震预报。

地下水异常。指由构造应力作用引起的地下水水位升降、泉水流量变化、水质和水温变化、水中气体浓度变化，以及通过包气带逸出等地下水、气异常现象的总称（图6.6）。比较常见的有，井水陡涨陡落、变色变味、翻花冒泡、温度升降，泉水流量的突然变化，温泉水温的突然变化。如：1970年1月云南玉溪大地震前，在极度震区，有一口甜水井，不仅水位急剧下降，而且水的味道也变咸变苦，相反，有的井水却突然变甜；有的井水，煮的饭变红，用来做豆腐、豆浆不能板结。

1976年7月28日唐山7.8级地震前，在唐山地区滦县高坎公社有一口并不深的水井，平时用扁担就可以提水，可是在七月二十七日这天，有人忽然发现扁担挂着的桶已经够不到水面，他转身回家取来井绳，谁知下降的水又忽然回升了，不但不用井绳，而且直接提着水桶就能打满水！那些天，唐山附近的一些村子里，有些池塘莫名其妙地干了，有些地方又腾起水柱。

天气异常。地震前，尤其是大震前，往往会出现多种反常的大气物理现象，如怪风、暴雨、大雪、大旱、大涝、骤然增温或酷热蒸腾等。

1925年3月16日云南大理地震，震前“久旱不雨，晚不生寒，朝不见露”。

1971年3月23日新疆乌什发生6.3级地震前几天，雾气腾腾，灰尘满天。

1973年2月6日四川炉霍发生7.9级地震，“震前几小时风尘大作，风向紊乱，上下乱窜”。

1975年2月4日辽宁海城7.3级大地震之前，从2月2日起气温连续上升，气压急剧下降，到2月4日，日平均气温出现顶峰，比常年高8度；另外，2月3日上午3时至10时，震区气温突然上升，形成一个以海城为中心的急剧升温区，两个小时内海城增温12度，而离海城较远的大连市增温2度。

研究认为：地震发生前，由于地应力的积累加强和集中释放，导致地球内部释放出大量粒子流和热电流，这些物质进入大气中后附着于大气微粒子，成为天气中水气的凝结核心，并在地磁场的作用下发生运动，引起了天气异常。

地震云。云是大地的脸，它不会撒谎。研究者把在辽阔的天空出现的与地震有关的、与一般的云有着明显区别的、最大特点是“奇”的云称为地震云。据报道，地震云出现的时间以早上和傍晚居多，其分布方向往往同震中垂直；目测估计其高度可达6000米以上，相当于气象云中高云类的高度；其形态各异，常见的有条带状地震云（很像飞机的尾迹，不过更加厚实和丰满些）、辐射状地震云（数条带状云同时相交在一点，犹如一把没有扇面的扇骨铺在空中）、条纹状地震云（形似人的两排肋骨）。研究者们根据长期观测结果认为：地震云持续的时间越长，则对应的震中就越近；地震云的长度越长，则距离发生地震的时间就越近；地震云的颜色看上去越令人恐怖，则所对应的地震强度就越强。例如：寿仲浩（一个民间专门利用地震云进行地震预报的专家）曾于1994年1月8日上午7点半（当地时间），在美国加州天空中发现了一朵形似羽毛的云彩（地震云），综合分析判定1月12日至27日在南加州帕桑迪那西北将有一次六级以上的大地震。结果在17日早晨4点30分在那儿发生了Ms7.0级地震！据报道在唐山地震前也曾出现过地震云，1976年7月28日，唐山7.8级强烈地震发生前一天傍晚，日本真锅大觉教授发现天空出现了一条异常的长长彩云，并用相机拍摄下来。经研究，这种异常的长条云，就是唐山地震的前兆——地震云。

目前，有关地震云形成原因有2种学说，一是热量学说，即在地震将发生时，因地热聚集于地震带，或因地震带岩石受强烈应力作用发生激烈摩擦而产生大量热量，这些热量从地表面逸出，使空气增温产生上升气流，这气流于高空形成“地震云”，云的尾端指向地震发生处。二是电磁学说，认为地震前岩石在地应力作

用下出现“压磁效应”，从而引起地磁场局部变化；地应力使岩石被压缩或拉伸，引起电阻率变化，使电磁场有相应的局部变化。由于电磁波影响到高空电离层而出现了电离层电浆浓度锐减的情况，从而使水汽和尘埃非自由的有序排列行成了地震云。

动物异常 地震前动物出现的反常表现、活动反常等称为动物异常。现在震中区，目前已发现对地震有反应的动物有 130 多种，其中反应普遍且比较确切的约有 20 多种。即大牲畜：如马、驴、骡、牛等；家畜：如狗、猫、猪、羊、兔等；家禽：如鸡、鸭、鹅、鸽子等；穴居动物：如鼠、蛇、黄鼠狼等；水生动物：如鱼类、泥鳅等；会飞的昆虫：如蜜蜂、蜻蜓等。

震前动物出现异常的先后顺序依次为：穴居动物 两栖动物 水生动物 鸟类与家禽 小家畜 大家畜 观赏动物。如：

1854 年日本中部太平洋海岸外的 8.4 级地震前，距震中 100 公里的伊豆半岛西海岸，发现许多鱼死在海边，这些鱼往往生活在大海深处。

1976 年 7 月 28 日唐山 7.8 级强烈地震前，7 月 20 日前后，离唐山不远的沿海渔场，梭鱼、鲅鱼、鲈板鱼纷纷上浮、翻白，极易捕获；就连居民家中养的金鱼，也争先跃出缸外，主人把它们放回去，金鱼竟然“尖叫”不止；更有奇者，有的鱼尾朝上头朝下，倒立水面，竟似陀螺一般飞快地打转。

1975 年海城地震前，冬眠动物（蛙、蛇等）发生出洞事件，尤其是冬眠蛇的出洞，是人们公认的震兆现象。该现象在 1978 年 11 月 2 日前苏联中亚 6.8 级地震前得到进一步证实。

史料曾记载：1857 年 2 月 4 日浙江鄞县地震前“山雉皆鸣”。雉除繁殖期求偶外，很少鸣叫，但在地震前却有乱叫现象。在日本也有一种说法：“野鸡乱叫，地震要到”。

据《银川小志》（1755 年即清乾隆二十年）记载：“宁夏地震，每岁小动，民习为常。大约春冬二季居多，如井水忽浑浊，炮声散长，群犬围吠，即防此患。”1972 年尼加拉瓜的马那瓜 6.2 级地震前几小时，市内某孤儿院饲养的猴子大肆骚乱。

可见，可以把动物机体看作是一个复杂而对环境变化敏感的感知系统，它可以把有关的地震前兆信号进行有效地提取和放大。从地震预测研究的角度来看，只要知道动物所感觉到的或直接作用于中枢神经系统的是什么样的地球物理或化学因素及其变化特征，就有可能设法检测它们。

总之，大地震之前，大自然总会通过各种方式向人们发出具有奇异表现形式的信息。所以，宏观前兆在地震预报中具有重要的作用，如 1975 年辽宁海城 7.3 级地震和 1976 年松潘 —— 平武 7.2 级地震前，地震工作者和广大群众曾观察到大量的宏观前兆现象，为这两次地震的成功预报提供了重要依据。但值得注意的是引发大自然宏观异常现象的原因是多方面的，因此在碰到类似情况时，不要简单地对号入座，而应该进行全面分析。必要时报告相关的地震行政主管部门。

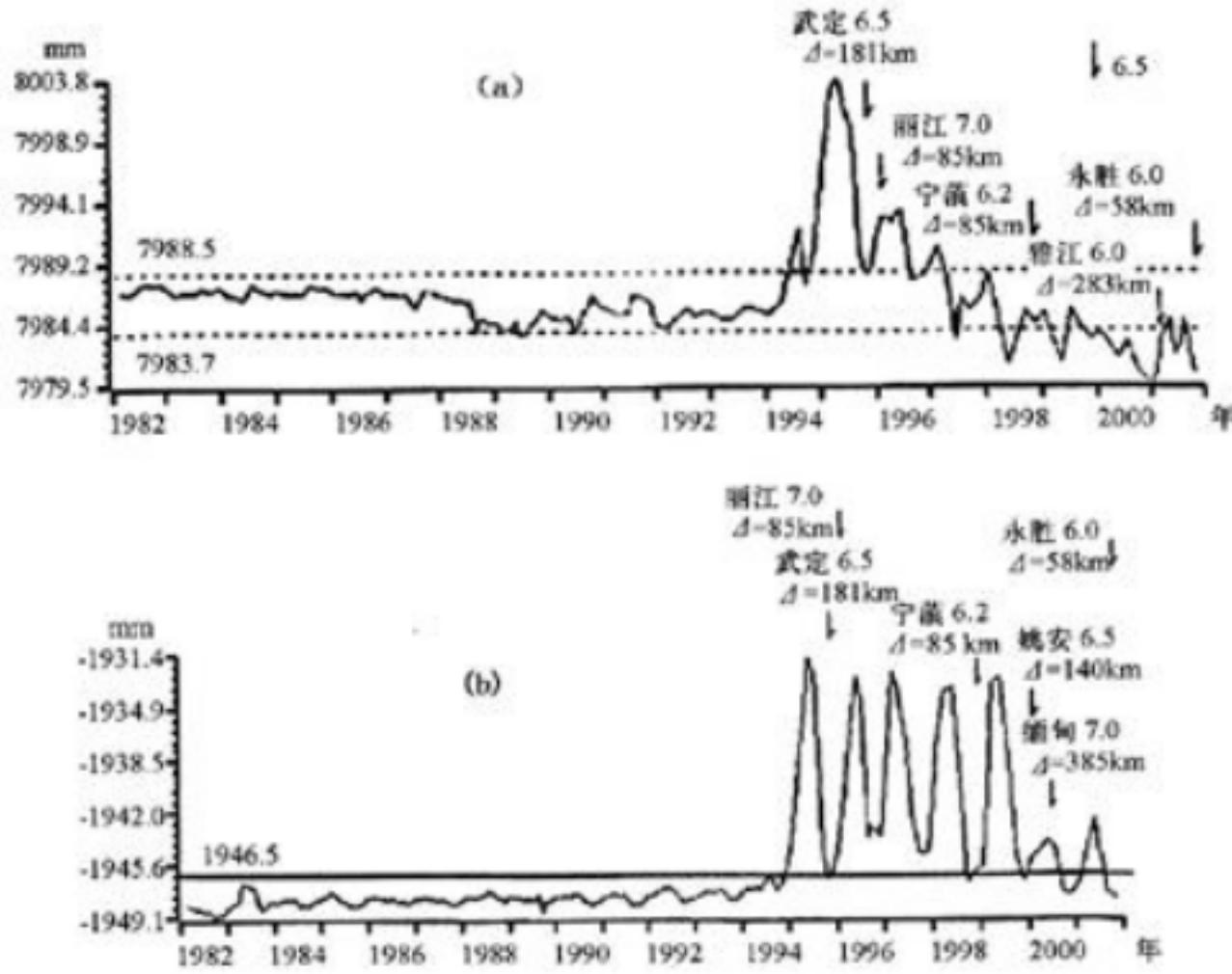
### 6.2.2 微观前兆

人的感官无法觉察，只有用专门的仪器才能测量到的地震前兆现象称为微观前兆。其主要包括以下几类：

地震活动前兆。大小地震之间有一定的关系，研究中小地震活动的特点（地震活动分布的条带、空区集中、地震频度、能量、应变、 $b$  值、震群、前震、地震波速、波形、应力降等），有可能帮助人们预测未来大震的发生。例如：1975 年 2 月 4 日 19 时 36 分，辽宁海城 7.3 级强烈地震前 4 天左右时间，在距该台 20 km 的地方，发生中小地震 500 多次，最大地震 4.7 级；地震的活动范围在距震中 5 km 以内；且在大震前 12 小时出现小震平静现象，表现出明显的密集—平静—地震发生的阶段性特征。1999 年 11 月 29 日 12 时 10 分（北京时间），辽宁省岫岩 5.4 级地震前，小震密集活动 3 天左右。11 月 9 日至 28 日 14 时地震目录共 233 条，最大 4.1 级。27 日晚 18 时开始至 28 日 14 时，只发生小震 7 次。同样出现明显的密集—平静—地震发生的阶段性特征。

地形变前兆。大地震发生前，震中附近地区的地壳可能发生微小的形变（升降、错位等），某些断层两侧的岩层可能出现微小的位移，借助于精密的仪器，可以测出这种十分微弱的变化，分析这些资料，可以帮助人们预测未来大震的发生。1996 年 2 月 3 日云南丽江 7.0 级地震前，距丽江 75 公里的永胜地形变观测站记录到了地壳的形变，如图 6.8。

地球物理场变化。众所周知，地震是发生在地壳内的，地震的能量是由地球岩石层的构造运动、地幔物质的迁移、地核高压高温物质的热运动所提供的；地震断层发生错动的前前后后，也必然伴随大量的地球物理场的剧



月测值曲线

磁场变化。据记载，1855年日本江户大地震发生的当天，位于江户闹市

区的一个眼镜铺里，吸到大磁铁上的铁钉及其他铁制商品（用以招揽顾客），突然掉落在地。事过两小时，一次

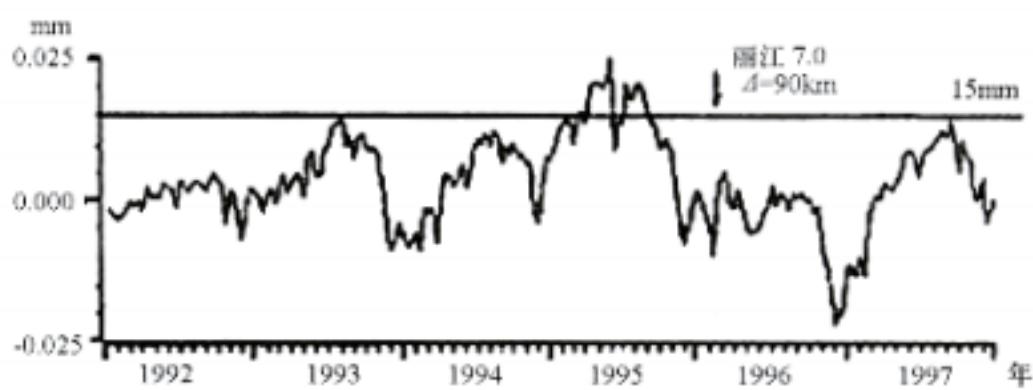
破坏性大地震发生了，震撼了整个市区。地震过后，那块磁铁又恢复了往日的吸铁功能。

1872年12月15日印度

发生地震前，巴西里亚至伦敦的电报线上出现了异常电流；1930年日本北伊豆地震时，电流计也记到了海底电线上的异常电流。

近代的记录就更多。1970年1月5日，在云南通海发生7.8级大地震前，震中区有人发现收音机在接收中央人民广播电台的广播时，忽然音量减小，声音嘈杂不清，特别是在震前几分钟，播音干脆中断。1973年2月6日四川炉霍7.9级地震之前，县广播站的人发现，在震前5-30分钟，收音机杂音很大，无法调试，接着发生了大地震。1975年2月4日19时36分，辽宁海城7.3级强烈地震前，海城地震站发现记录地球电场变化的仪器在4日2时25分记录指针出现较大幅度的突跳信号，在13时50分至14时，记录指针又连续突跳6次，幅度很大，并已经出格；同时记录指针发出“嚓嚓”的划纸声。1976年唐山地震前两天，距唐山200多公里的延庆县测雨雷达站和空军雷达站，都连续收到来自京、津、唐上空的一种奇异的电磁波。因此，观测电磁场的变化也成为预报地震的主要手段之一。

地下流体的变化（图6.9）。地下水（井水、泉水、地下层中所含的水）、石油和天然气、地下岩层中还可能产和贮存一些其它气体，这些都是地下流体。用仪器测地下流体的化学成份和某些物理量，研究它们的变化可以帮助人们预测地震。



能与天气变化、疾病、发情、外界刺激等有关，还要注意不要把电焊弧光、闪电等误认为地光，不要把雷声误认为地声，不要把燃放烟花爆竹和信号弹当成地下冒火球。

一旦发现异常的自然现象，不要轻易做出马上发生地震的结论，更不要惊慌失措，而应当弄清异常现象出现的时间、地点和有关情况，保护好现场，向地震部门或政府报告，让地震部门的专业人员调查核实弄清事情的真相。

烈变化。所以，在地震孕育过程中，震源区及其周围岩石的物理性质都可能出现一些相应的变化。利用精密仪器测定不同地区的地球物理场（重力、地电、地磁）或岩石物理性质的时空变化，并研究其时空演化规律，也可以帮助人们预测地震。

人们很早就注

图6.8 云南丽江  
7.0级地震的地形变异常变化  
意到了地震前的电

（a）永胜短基线  
月测值曲线；（b）永胜短水准

不过也应当注意，很多异常的现象可能由多种原因造成，不一定都是地震前兆现象。例如：井水和泉水的涨落、地电或地形变的记录变化可能和降雨的多少有关，也可能受附

图6.9 水化前兆（剑川水位旬均值曲线）近抽水、排水和施工的影响，井水的变色变昧可能因污染引起，动物的异常表现可

## 地震监测方法

地震时，大地像发了疯一样颤抖，山摇地动，房屋倒塌，夺去很多生灵生命。人们自然要问：这是怎么回事呢？谁来给发疯的地球做个诊断呢？能不能提前打个招呼、让人们有所防备呢？承担这项任务的就是地震科学战线的广大科技人员，正是他们在日日夜夜地为人民站岗放哨，给躁动不安的地球“号脉”。这就是地震监测工作的任务。

我国的地震监测工作采用了“专业与群测、微观与宏观、固定与流动”相结合的方法，建立了由多方法、多手段构成的地震观测网络系统，是在“边监测、边研究、边预报”的思想指导下进行的。

专业是指地震台站，主要用监测仪器，如水位仪、水化仪、地震仪、电磁波测量仪、倾斜仪、GPS等等，来监测地震微观前兆信息；群测是指群测点，主要靠浅水井、水温、动植物活动异常等手段，来观察地震前的宏观前兆现象。固定是指地震台站的定点连续观测；流动则是对固定点的、等时间间隔的重复观测，如流动地磁测量、水准测量、重力测量等等，这是对地震台站观测的补充，具有节约资金、增大监控区域、灵活机动、便于应急的特点。

据中国地震局统计，在中国大陆 31 个省、市、自治区都有地震机构，台湾省也有很强的地震科研力量。这些地震机构在《防震减灾法》中被法定为地震主管部门，下辖 1000 多个专业台站，从事人员在 2 万人以上。形成一个对大地活动进行严密监视的网络，以观察地下的动静。

### 6.3.1 地震监测手段及监测仪器

就像大夫给病人查血压、做 CT、进行各种理化检验一样，地震部门对地震的监测可归纳为四大学科（测震、形变、电磁和地下流体，如图 6.10）、八大手段，共有上百种测项。这些学科与手段，很像医院里开设的内科、外科、骨科，。

地震学方法 利用地震仪测定地震三要素，通过研究地震活动的规律来预报可能发生的破坏性地震的方法，通常称“以震报震”。

地震仪是观测地震所引起的地面振动的仪器，主要是利用惯性原理和弹性原理来记录地震引起的地面运动，以确定地震发生的时间、地点和震级。世界上第一架地震仪（地动仪）是公元 132 年我国古代杰出的科学家张衡（公元 78 ~ 139 年）发明的。近代的地震仪是 1880 年制成的，它的原理和张衡地动仪基本相似，但在时间上却晚了 1700 多年。

地震仪是由二大部分组成的观测系统。一是拾震系统，其作用是：当地震时拾取地面振动，加以放大（亦可缩小），如图 6.11 所示，其中弹簧和铰链等就组成了一个拾震系统；二是记录系统，其作用是将地震过程用记录器记录下来，描成地震连续运动图形，得于永远保存。它可以是纸介质的，也可是数字的。图 6.11 中的可以滚动的记录纸就是一个记录系统。

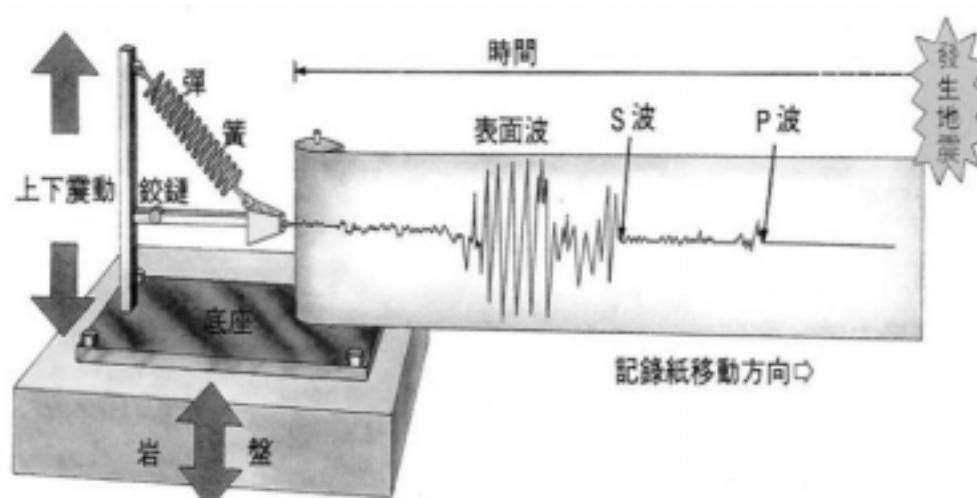


图 6.11 地震仪简单示意图

拾震系统的核心是检测地面振动的传感器——地震计，它的主要作用是捡取地面运动信号，并将这些信号送至转换设备或记录设备中去。地震计的核心是摆（图 6.12），它利用惯性原理和弹性原理来捡取地面运动信号。

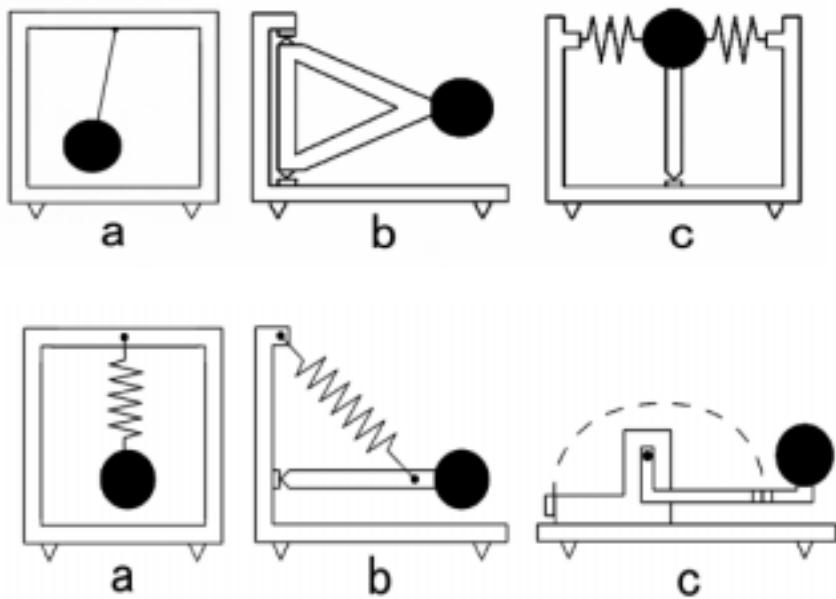


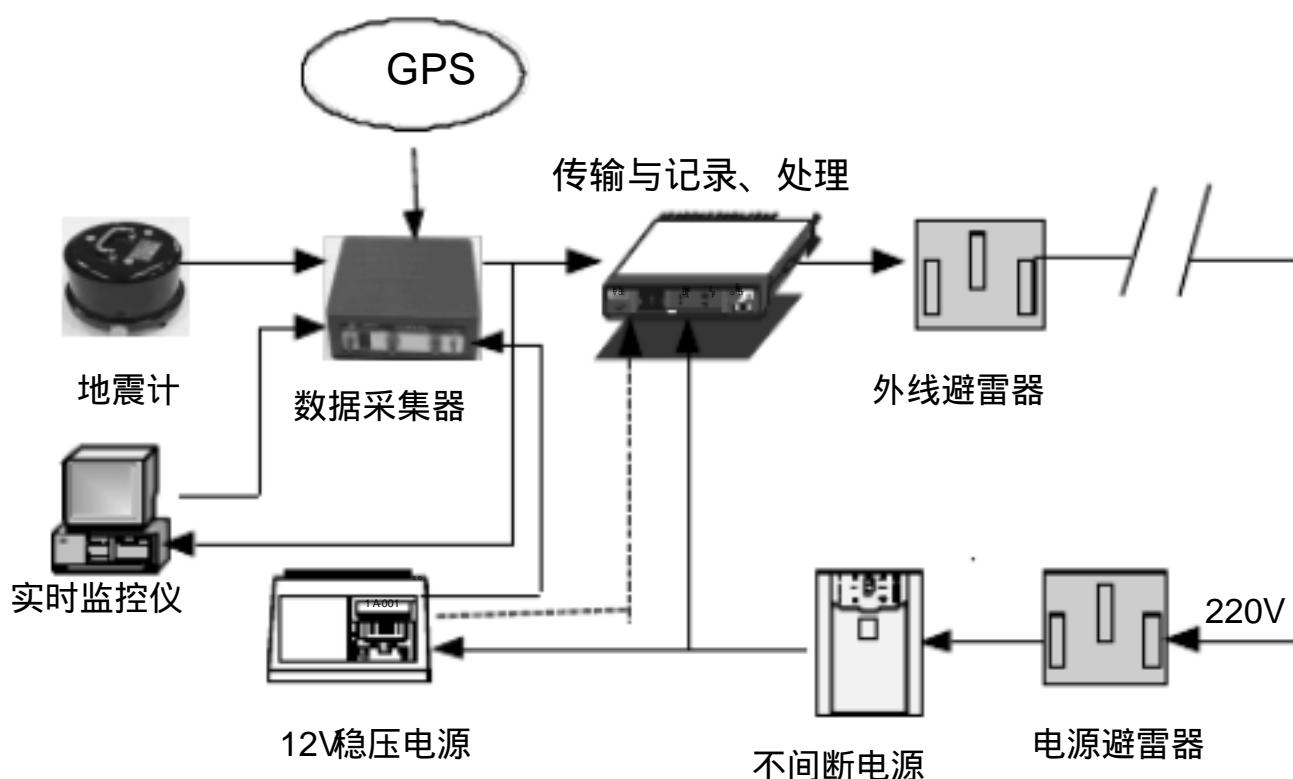
图 6.12 地震计摆的示意图 (上 : 垂直摆 , 下 : 水平摆 )

当前地震仪的记录系统已全部使用数字化系统，由数据采集器、

时间服务系统和辅助设备组成的。图 6.13 是

数字化地震观测系统的简易模型。

**地壳形变监测** 利用精密仪器观测地壳微小变化 (包括倾斜、水平与垂直位移)，专门负责监测地球上板块的运动、断层的移动等微小变化的方法。通常采用水准测量、倾斜测量监测地壳的垂直形变；采用伸缩仪、基线测量监测地壳的水平形变。特别是近年来，我国采用了“全球卫星定位系统”(GPS)进行地壳形变监测，使这一监测手段达到国际先进水平、已能测出小于  $10^{-9}$  的形变量和极细微且大范围的位移量，成为监视大地活动的有效手段。



**地磁监测** 地球磁场可以直接反映地球各种深度乃至地核的物理过程，地磁场及其变化是地球深部物理过程信息的重要来源之一。通常采用质子旋进式磁力仪、磁通门磁力仪等精密磁测仪器观测地磁场的时空变化，并从中分析提取震磁信息可以预测地震。此方法有其理论依据和实验基础，也有一定的震例事实。

**地电监测** 地震孕育过程中，将伴随有地下介质（主要是岩石）电阻率的变化及大地电流和自然电场的变化。大量的实验结果和震例都证明这些变化与岩石受力变形及破裂过程是相关的。因此，可以使用大地电场仪、地电阻率观测仪等精密仪器对地电场及地下介质电阻率进行观测，并从观测资料中提取信息以预测地震。

**重力监测** 地球重力场是一种比较稳定的地球物理场之一，它与观测点的位置和地球内部介质密度有关。通常利用高精度重力仪观测重力场的时空变化，以研究地壳的变形、岩石密度的变化及其时空演化过程，从而预测地震。

**地应力监测** 地震孕育不论机制如何，其实质是一个力学过程，是在一定构造背景条件下，地壳体中应力作用的结果。地应力观测是利用埋设在地下一定深处的测试元件测定地下应力的异常变化来预报地震的方法，是一种较直接、可靠的监测预报手段。

**地下水物理和化学的动态监测** 地下水动态是指在震前地下水物理、化学性质出现的异常变化现象。宏观现象如水井水位上涨，水中翻花冒泡、井水变色变味等；微观现象如水化学成分改变（如水中溶解氯气量变化等），固体潮（天体引潮力引起的地下水位涨落现象——就像海水潮涨落一样）的改变等。这些可以通过水位仪、水温仪、测氯仪、测汞仪等流体观测仪监测地下水动态，从而可直接地了解含水层受周围的影响情况和受力的情况，以便进行地震预报。

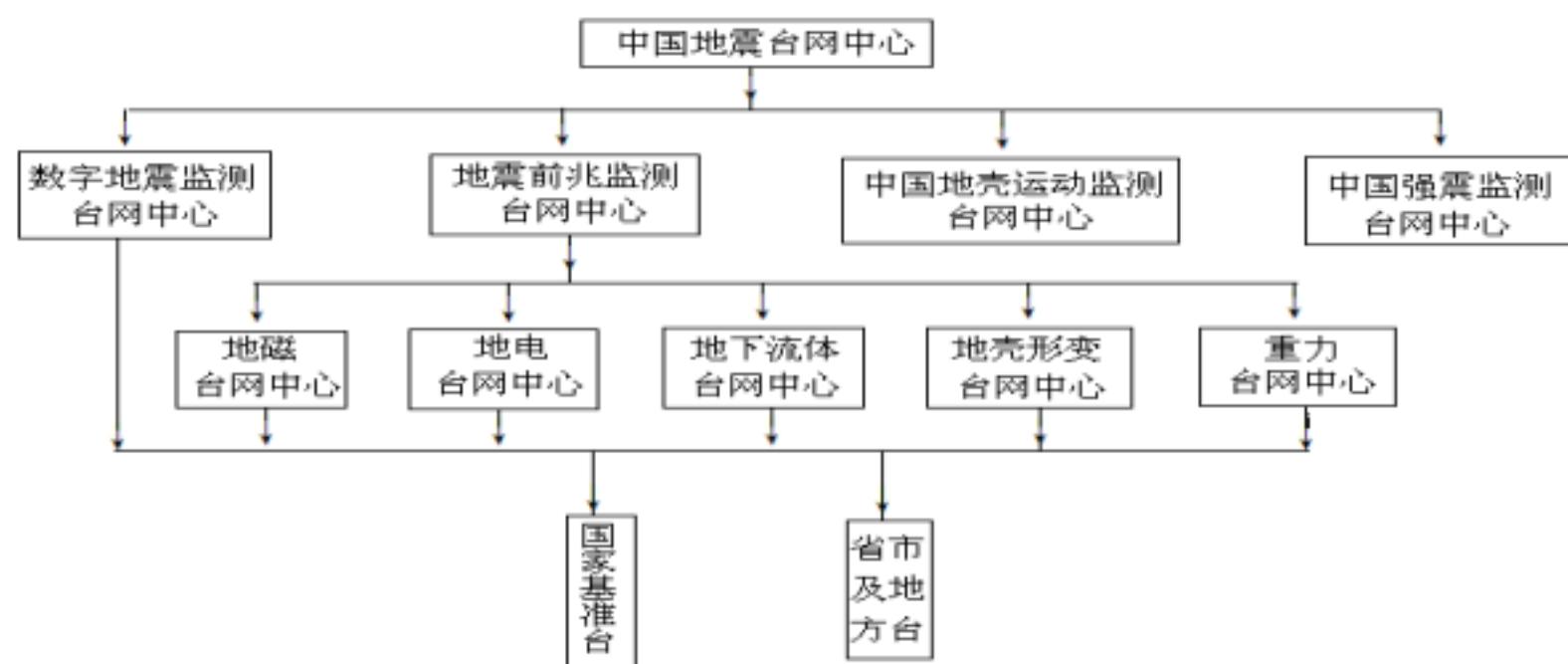
**宏观前兆现象监测** 这是群测手段，是在做好地震知识宣传工作基础上，发动监测区内广大人民群众实现的观测手段，它可以为地震预测提供重要依据。如 1975 年 2 月 4 日辽宁海城 7.3 级地震前一、二个月观察到很多宏观异常现象，这些宏观异常是成功预测海城地震的重要依据之一。宏观前兆现象观测已成为我国地震监测预报探索的一大特色。

### 6.3.2 地震监测台网

成功预报地震的前提，是必须具备相当的监测能力。目前，我国已经建成包括测震、形变、电磁、流体四大学科，共有二十余种观测手段的地震监测台网，基本覆盖了中国主要地区。全国共建 415 个专业地震台站、20 余个包含近 300 个站（点）的遥测地震台网、560 余个地方、企业观测站（点），1200 余部短波、超短波电台组成的地震数据信息通信网络。按观测类别分，专业台站（点）中：测震有近 600 个站（点）800 套仪器，强震观测台（点）240 个，形变有 160 个站（点）297 套仪器，电磁有近 150 余个站（点）280 余套仪器，地下流体有近 110 个站（点）200 套仪器；地方、企业台站（点）中：测震有近 220 个站（点）250 余套仪器，形变有 60 余个站（点）65 套仪器，电磁有 120 余个站（点）125 套仪器，地下流体有 300 余个站（点）313 套仪器。不仅形成了专群共同监测的特色，而且，基本实现了数字化、网络化，地震观测技术也已跻身于世界先进行列。

而且，近年来全国又建立了上千个 GPS（全球定位系统）观测点，已经使得我国的地震监测台网成为一个从空间到地表、从浅表到深部、从全国到局部、对地震活动构成多方位的立体化监测体系（图 6.14）。

地震监测台网的管理方式为：



**中国地震台网中心** 承担着全国地震监测、地震中短期预测和地震速报；国务院抗震救灾指挥部应急响应和指挥决策技术系统的建设和运行；全国各级地震台网的业务指导和管理；各类地震监测数据的汇集、处理与服务；地震信息网络和通讯服务以及地震科技情报研究与地震科技期刊管理等。是我国防震减灾工作的重要业务枢纽、核心技术平台和基础信息国际交流的重要窗口。

**数字地震监测台网** 主要用于控制我国的地震活动和构造，服务于我国地震监测预报与地球科学研究，完成大震速报任务。它构成了我国的测震监测系统，根据台站分布要均匀的原则，同时又保证对于一些重点地区的加密观测，此系统由国家地震台网、区域地震台网和流动地震台网 3 个层次组成。实现全国的监控能力可达 ML 4.0 级地震（速报时间是 20~25 分钟），东部重要省会城市及其附近具有监测 ML 1.5~2.0 级地震的能力（速报时间是 10~15 分钟），首都圈地区具有监测 ML 1.0~1.5 级地震的能力（速报时间是 5~10 分钟）。如图 6.15。

国家地震台网主要是对我国境内及周边地震进行控制，  
坏性地震中长期预报提供服务。由全国的 49 个数字化地震台组成，通过卫星、英特网实现实时数据传输。其中有  
11 个台站（北京、余山、牡丹江、海拉尔、乌  
鲁木齐、拉萨、琼中、恩施、兰州、昆明和西安）同时属于全球地震台网，主要用于控制全球大尺度的地震活动  
和构造，服务于全球地震监测与地球科学的研究。

区域地震台网主要对人口稠密地区和地震多发区进行地震监测，以减少这些地区因地震造成的损失。它由 26  
个区域遥测地震台网和首都圈数字地震台网组成，遥测地震台网主要分布在南北地震带、华北地震带、新疆北部  
地震带和东南沿海地区。

流动地震台网主要用于地震应急现场的流动观测和地球深部结构成像的分区观测。  
地震应急现场的流动  
观测主要是进行大震前的前震观测和震后地震活动性监测，为判断震情的发展趋势提供依据。地球深部结构成像  
观测是通过观测资料的处理对地球深部（几十~上千公里）结构、人们无法觉察到的微震活动做一个扫描。

地震前兆监测台网 是我国规模最大的直接服务于我国防震减灾事业的地震监测台网。

地震前兆台网（图 6.16），包括国家重力台网、国家地磁台网、地壳形变台网、电台网和地下流体台网 5  
个专业台网及相应的学科台网中心（国家重力台网中心、国家地磁台

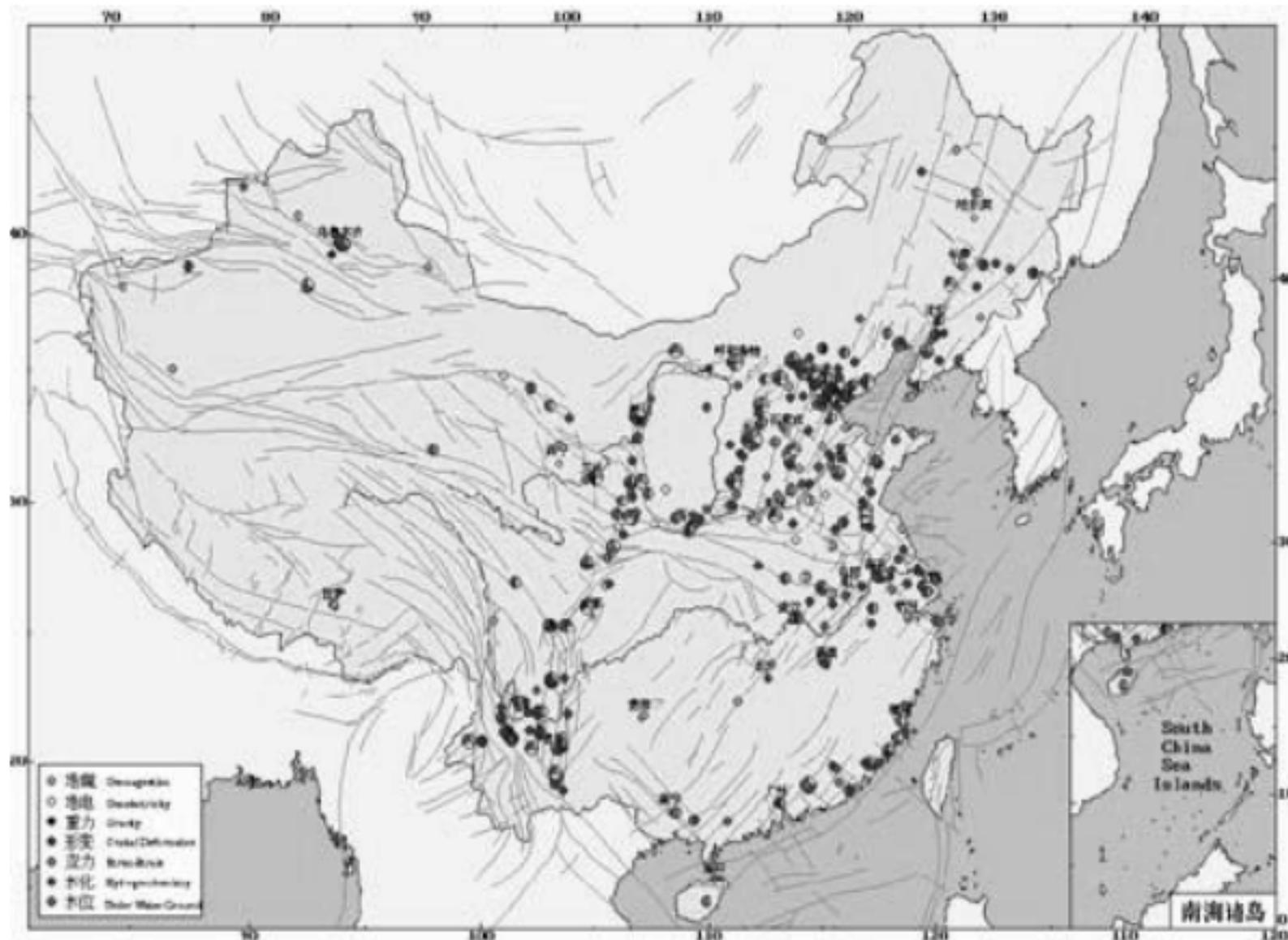


图 6.16 国家地震前兆监测台网

中心、地壳形变台网中心、电台网中心和流体台网中心），两个地震前兆台阵（四川西昌台阵和甘肃天祝台阵）  
及 1 个前兆台阵数据处理系统，在全国各省、自治区、直辖市的防震减灾中心设立的 31 个地震前兆台网部，以及  
国家地震前兆台网中心组成。涉及到形变、流体、电磁等三个学科、十多个观测手段，几十个观测项目，几十种  
观测仪器，其观测的物理  
量和仪器测量原理各不相同，观测手段之间的数据处理要求和重点各不一样。其特点是规模大、覆盖面广、观测  
项目和仪器种类繁多。这些台网遍及全国，可以实时或准实时收集数字化的地球物理、地球化学观测数据，实现  
数据处理计算机化，数据传输与共享网络化。共有前兆观测台项上千个；流动重力测点 1600 个，总长 90000 公里，  
流动地磁测点 140 个，总长 60000 公里；25 个连续观测基准站，56 个定期复测基本站和 1000 个不定期复测的 GPS  
观测站。

地震监测台站（点） 这是组成地震监测台网的最小单位，是地震监测工作的第一线，广大的地震监测技术  
人员像医生一样，日以继夜地坚守在岗位上为地球“号脉”，克服生活的艰苦和寂寞，为捕捉那些区域性极强、信  
息量极小的各种地震异常信息，保卫人民生命财产的安危而精心、努力地工作着。

## 地震预报程序与地震预报现状

### 6.4.1 地震预报方法

能否实现地震预测，一直是人类关心的焦点问题，也是地球科学的宏伟研究目标。从预报的思路来讲，目前  
主要有两种地震预测方法：理论性、经验性方法。

理论性方法。根据一定的理论模型，推导各种可能的前兆及不同前兆之间的关系，然后通过各种实践的检验  
来修改模型。但这种方法现在还很难对地震预报给出实用性指导。

经验性方法。通过搜集地震震例，从地震发生前出现的异常现象中提取地震发生的前兆信息并加以综合，总  
结出经验性规律推广应用到未来的地震。我国曾经成功地预报了 1975 年 2 月 4 日发生在辽宁海城的 7.3 级地震，  
被誉为地震科学史上的奇迹，用的就是这种经验性方法。

就预报的依据来讲，预报方法大体有三种：地震地质法、地震统计法、地震前兆法。

地震地质法。地震发生在地壳中上层，故认定地震应属于地质过程。研究已发生的大地震的地质构造特点，  
应有助于今后判定何处具备发生大地震的地质背景。但有些地震发生前，地质构造往往不甚明朗，震后才发现有  
某个断层，认为与地震有关。例如，中国地质学家，地质力学的创始人李四光（1889 ~ 1971）先生强调在研究地质  
构造活动性的基础上，观察地应力的变化，以实现地震预报的方向。1966 年河北邢台 7.2 级地震后，先生根据在  
地质构造活动性方面的研究成果，成功预测了 1967 年河北河间大城 6.3 级地震、1969 年渤海 7.4 级、1970 年  
通海 7.7 级地震和四川大邑 6.2 级地震。特别是在 1967 年就预测辽宁海城一带、河北唐山一带都是地震危险区，  
10 后果然发生了大地震。1970 年在先生的指导下，编制完成一份属国内首创的 1:400 万《中国主要构造体系与  
震中分布图》，图内标出地震危险区的地带或地段。此图为我国国民经济建设规划布局和地震监测布局提供了科学  
依据。而且，在 20 世纪 70 年代，我国共发生 14 次 7 级以上地震，其中有 10 次发生在该图预测的危险区域或  
边缘；2005 年江西九江的 5.7 级地震也发生在该图预测的危险区边缘。预测准确率之高是历史上罕见的，同时，  
证明地震地质法预测地震是可行的、值得提倡的方法之一。

地震统计法。对过去已发生的地震，运用数理统计方法，从中发现地震发生的规律，特别是时间序列的规律，  
根据过去以推测未来。此法把地震问题归结为数学问题。因需要对大量地震资料作统计，研究的区域往往过大，  
所以判定地震的地点有困难，而且外推常常不准确。例如：1975 年 2 月 4 日 19 时 36 分，辽宁海城 7.3 级强烈地  
震前 4 天左右时间，在距该台 20 km 的地方，发生中小地震 500 多次，最大地震 4.7 级；地震的活动范围在距震  
中 5 km 以内；且在大震前 12 小时出现小震平静现象。时间序列上表现出的明显密集—平静—地震发生的阶段性  
特征，成为辽宁海城 7.3 级强烈地震成功预报的主要依据之一。这种时间序列上表现出的震前地震异常统计结果，  
也是 1999 年 11 月 29 日 12 时 10 分（北京时间），辽宁省岫岩 5.4 级地震的成功预报的依据。当然，地震发生的原因  
是复杂的，不会每个地震前都会出现这种时间序列上的统计特征。

地震前兆法。地震是地球介质的破裂，故认定地震应属于物理过程。观测地球物理场各种参数以及地下水等  
异常变化，可能找到有用的地震前兆。前兆研究中的最大困难是，观测中常遇到各种天然的和人为的干扰，而所  
谓的前兆与地震的对应往往也是经验性的。尚未找到一种普遍适用的可靠的前兆。正如上述事例所反映的：1966  
年邢台地震总结的地震异常经验“小震闹，大震到”，虽然在 1975 年海城、1999 年岫岩地震的临震预报中起了作  
用，但在 1976 年唐山、2008 年汶川大地震前却没有这种反应。所以，不能将其认定为是一种普遍适用的可靠的  
前兆。

以上 3 种方法都有其片面性，都不能独立地解决地震预测问题。三者必须相互结合、相互补充，才能取得较  
好的效果，即必须采取综合预报方法。

### 6.4.2 地震预报程序及其发布权限

地震综合预报的工作程序与内容 地震预报是根据地震地质、地震活动性、地震前兆异常和环境因素等多种

手段的研究与前兆信息监测所进行的现代减灾科学。

地震预报技术是从地震监测、大震考察、野外地质调查、地球物理勘探、室内实验研究等多方面对地震发生的条件、规律、前兆、机理、预报方法及对策等的综合技术。通过长期的经验总结和研究，我国的地震综合预报工作基本上形成了“长、中、短、临”的阶段性渐进式地震预报的科学思路和工作程序。具体的工作程序与内容如图 6.17。

长期预报：依据对历史地震活动资料的统计分析，对地质构造活动、其他地球物理场的变化、地壳形变的观测研究，并考虑到天体运动、地球自转等因素对数年至一二十年内强震活动的地区与强度进行趋势预测，划分监测重点区为地震形势预测提供背景。

地震形势预测：依据长期预报提供的预测背景及现今地质构造和地震活动状况、各种地球物理场时空演化过程的观测资料分析等，对三五年内区域强震的发展趋势、活动水平与地区作预测，为年度中期预报提供背景。

中期预报：依据各种前兆趋势异常的时空分布特征及时空演变特点，考虑研究区的地震地质构造、历史地震情况，对地震趋势进行综合分析与判定，预测一二年内地震活动的趋势、水平、强度，圈定地震危险区为短期预报提供依据。

短期预报：继续追踪监视中期与短期异常的发展变化，进一步核定与分析各类异常的特征量，缩小预报区范围，进一步判定与修正地震三要素，为临震预报提供前提。

临震预报：在短期预报基础上，注意突发性的异常特征和一定数量与范围的宏观异常现象，继续修正已预测的地震三要素，使预报时间缩短到一个月到一周内，预报范围缩小至 100 ~ 200 公里内；尽量减小预报误差，为临震决策提供科学依据，

震后趋势预报：在中强以上地震发生后对震区及邻区在短期内（一般几天至几十天）的地震趋势与强余震活动作预报，服务于救灾、防灾与震区恢复工作。

地震预报发布权限的规定 国务院 1998 年 12 月 17 日以第 255 号令发布的《地震预报管理条例》中明确规定：地震预报一般由省级人民政府发布，情况紧张时，可由市、县人民政府发布 48 小时内的临震警报，并同时向上级报告。首都地区的地震预报则由中国地震局负责提出，经国务院批准后，再由北京市人民政府向社会发布。其他任何单位和个人都无权发布地震预报。 表 6.2 表明了各类地震预报的发布权限

地震预报分类	各类地震预报涵义	各类地震预报发布权限	备注
长期地震预报	对未来 10 年内可能发生破坏性地震的地域的预报	全国性的地震长期预报由国务院发布。省、自治区、直辖市行政区内的地震长期预报，由省、自治区、直辖市人民政府发布。	国家对地震预报实行统一发布制度
中期地震预报	对未来一两年内可能发生破坏性地震的地域和强度的预报	全国性的地震中期预报由国务院发布。省、自治区、直辖市行政区内的地震中期预报，由省、自治区、直辖市人民政府发布。	
短期预报	对 3 个月内将要发生地震的时间、地点、震级的预报	省、自治区、直辖市行政区内的地震短期预报，由省、自治区、直辖市人民政府发布。	
临震预报	对 10 日内将要发生地震的时间、地点、震级的预报	省、自治区、直辖市行政区内的临震预报，由省、自治区、直辖市人民政府发布。	