



我国年度会商主要技术方法及总体预测效能

□ 张永仙

我给大家汇报一下我对年度会商主要技术方法整体预测效能的认识。这个报告分为三部分：1、年度会商的由来；2、年度会商的主要技术；3、年度地震预测主要效能。需要指出的是，这里的PPT很多是一脉相承的，里面有的图片没有标注作者，我是从之前预报部门对外宣传的PPT里借用过来的。

一、年度会商的由来

我们先回顾一下年度会商是怎么来的。新中国成立以后，1958年中国科学院组织地震预报考察队，赴西北宁夏、甘肃等地考察1920年海原8.6级、1927年古浪8.0级、1932年昌马7.6级大地震，目的是看看是否存在对地震预报有帮助的地震前兆异常。从考察结果看，群众反映最多的震前异常现象是地声、地光、地下水、动物、气象等。在确定这些现象是否可作为地震前兆的可靠性方面，遇到了不少困难，1963年付承义撰写了《有关地震预告的几个问题》，文章指出“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”，该文提出，前震和地下微弱震动、地震波速度、地倾斜和地形变、地磁要素、地下水位、地温、地电、生物、月相、气象要素等的变化可能含有地震前兆信息，但地震预报是极其复杂的科学问题。1966年初中国科学院地球物理研究所召开了由昆明和兰州地球物理研究所参加的地震预报讨论和规划会议，论证了开展地震预报的必要性和现实性，并研究起草了地震预报规划。这也标志着，我们国家的大规模地震预报事业在1966年初拉开了序幕，1966年3月邢台发生了一系列地震，最大为3月22日7.2级地震，造成8000余人死亡。周恩来总理亲临现场，并发出号召开展地震群测群防，希望通过一到两代人的努力，解决地震问题。因此，这个地震是我们国家大规模开展地震预报事业的里程碑。1966—1976年，我国发生14次7级地震，其中12次造成巨大的人员伤亡和财产损失，发生在1976年的唐山地震造成了24万余人的死亡。这一系列灾害地震也促成了我国地震预报历史上的第一次重大发展。

1972年全国地震工作会议和地震科学讨论会在山西临汾召开。根据当时对地震发生规律的初步认识，初步形成了长、中、短、临渐进式预报的总体思路。长期预报指未来10年尺度的预报，中期预报指1-2年内的预报，短期预报指3个月以内的预报，临震预报指10天以内的预报（图1）。建立了一年一度的全国地震形势会商会制度，会商会的主要目标是对未来1、2年地震形势进行估计，并指导和协调近期的监测预报工作。因此，1972年是我国地震预报工作体系建立的一个里程碑。

长中短临预报思路与工作机制



图1 长中短临预报思路与对应的主要现象

1980年原国家地震局分析预报中心成立，承担长、中、短、临地震预报任务。2004年机构改革，分析预报中心更名为地震预测研究所，同时成立了新的机构中国地震台网中心。部分地震预报人员留在地震预测研究所承担地震中长期预报工作（包括未来1-3年中长期预测和未来10年尺度的重防区预测），其余地震预报人员到新成立的中国地震台网中心地震预报部工作，承担年尺度的中期地震预报工作，并指导省地震局开展短临预报工作。

年度会商从形式上讲是每年年底或年初召开的全国地震趋势会商会。其目的是对未来一年我国7级以上地震的危险性以及最高地震活动水平的趋势预测，对大陆西部（东经107度（含）以西）发生6级左右及以上地震、大陆东部（东经107度（不含）以东）发生5.5级左右及以上地震的危险地区预测，以及对首都圈地区（北纬38.5-41度，东经113-120度范围，现称

北京附近地区）是否有发生5级左右及以上地震的预测。近年来开始这些预测意见经过全国地震预报评审委员会的评审成为正式的年度地震预报意见，为国务院年度防震减灾工作提供科学依据。

二、年度会商主要技术

1966-1976年我国发生的一系列大地震造成了巨大的生命和财产损失，另一方面也积累了大量的观测资料及边观测、边研究、边预测的科学认识。围绕孕育构造背景、蕴震条件、演化过程和地震活动性、前兆特征等方面，1980年代对海城、唐山、松潘、龙陵等大地震进行了系统总结，获得了大量科学认识。1983-1986年，国家地震局组织2000多名专家对地测震、大地形变测量、地倾斜、重力、地应力、水位、水化、地磁、地电等学科开展了地震预报技术清理攻关，并提出一批地震综合预报方法。近年来利用空间观测资料开展了遥感地震异常探索，如GNSS、InSAR、重力、电磁卫星资料，获得了一些科学认识。我国还在2018年初发射了地震电磁试验卫星，探测地震电离层异常。总体看，1966年前对地震前兆异常的经验性认识主要是宏观异常，1966年后主要是通过仪器观测的微观异常（图2）。

| 宏观异常标志 | 微观异常标志 |
|---|--|
| 史今经验积累 | 通过仪器观测 |
| ①地下水 ②动物 ③地光 ④温热 ⑤异风 ⑥天象 | ①地震 ②地形变 ③重力 ④地磁 ⑤地电 ⑥地化 ⑦地热 ⑧电离层 |

图2 地震宏观异常的经验认识

地震预报的理论基础直到今天为止仍然是岩石的应力应变本构关系（图3）。即地壳岩石受到边界动力的作用，介质发生变形。最初应力与应变呈现线性关系（I阶段）。随着应力增大，应力应变偏离线性阶段（II阶段），并达到临界点（III阶段），之后经历亚失稳阶段，直到失稳（IV阶段，岩石破裂，跟地震

对应)。地震的长、中、段、临阶段与应力应变本构关系存在一定相关性。

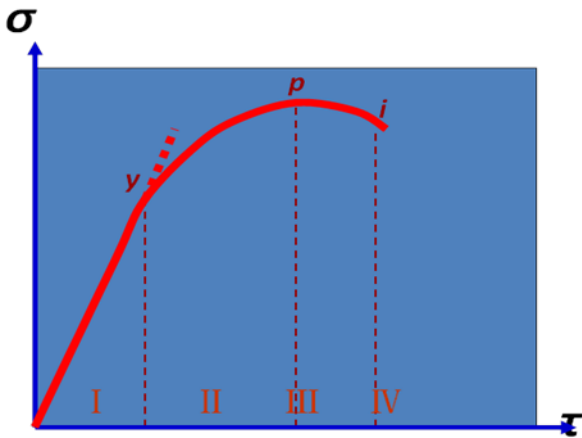


图3 岩石破裂应力应变本构曲线（横轴为应变，纵轴为应力。Y表示屈服点，P表示临界点，i表示破裂点）

长、中、短、临预报所包含的技术手段很多，图4显示了地震长中短临预报的主要技术手段及前兆异常。图中可见，地震孕育的不同时间段，各学科发挥不同的作用。地震地质学可以根据活动断层与历史地震载地震长期预测中发挥作用。地球化学、红外、电磁、生物等学科探测的参量可以在地震短临阶段发挥作用。而地震学、大地测量学、地震力学等学科探测的各种参量在地震长、中、短、临阶段都可以发挥作用。

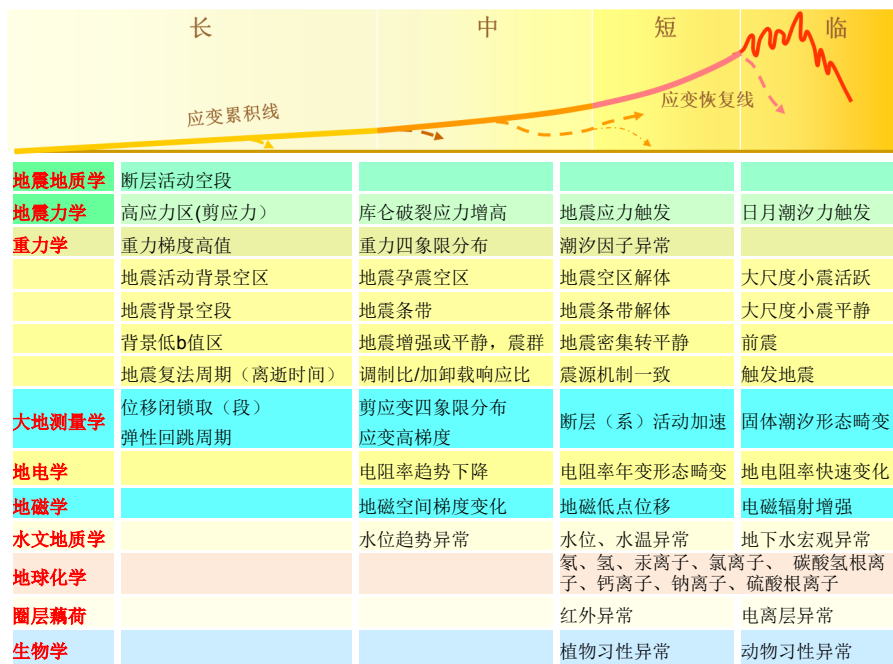


图4 地震长中短临预报的主要技术手段及前兆异常示意图

我国对1966年以来发生的显著地震之前出现的前兆异常进行了系统的总结。从1966-1985年的震例资料统计结果看，共有11大类、75种观测项目，涉及到测震、地形变、重力、地电、地磁、地下水化学、地下

水物理、应力-应变、气象、其他微观动态、宏观动态（图5）。实际上，随着观测技术的进步，后期的震例还增加了一些空间对地观测技术的异常，如热红外、电离层等异常。

| 观测手段 | 异常项目序号及其名称 |
|--------|--|
| 测震 | 1.地震条带; 2.地震空区(段); 3.地震活动分布; 4.前兆震(群); 5.震群活动; 6.有效面积数(A); 7.应变释放(能量释放); 8.地震频度; 9.b值; 10.h值; 11.地震窗; 12.缺震; 13.前震活动(前震); 14.断层总面积(Σt); 15.震情指数(A(b))值; 16.地震活动度 γ ; 17. η 值; 18.D值; 19.小震综合断层面解; 20.P波初动符号矛盾比; 21.应力降; 22.介质因子(Q值); 23.波速; 24.波速比; 25.S波偏震; 26.tH/tV; 27.振幅比; 28.地脉动; 29.地震波性; 30.E、N、S三项指标; 31.小震调制比 |
| 地形变 | 32.水准测量(长水准); 33.定点水准(短水准); 34.流动水准; 35.海平面; 36.定点基线(短基线); 37.流动基线; 38.地倾斜 |
| 重力 | 39.定点重力; 40.流动重力 |
| 地电 | 41.视电阻率 |
| 地磁 | 42.Z变化; 43.幅差; 44.B变低点位移; 45.日变畸变; 46.总场(总强度); 47.流动地磁; 48.偏角 |
| 地下水化学 | 49.水氡; 50.气氡; 51.土氡(α 粒子径迹密度); 52.总硬度; 53.水电导; 54.气体总量; 55.CO ₂ ; 56.H ₂ ; 57.H ₂ S; 58.SiO ₂ ; 59.Cl; 60.F |
| 地下水物理 | 61.地下水位; 62.地下水位与湖水位; 63.水(泉)流量; 64.水温 |
| 应力-应变 | 65.电感应应力; 66.钢弦应力; 67.振弦应变; 68.体积应变 |
| 气象 | 69.气温; 70.干旱; 71.旱涝 |
| 其他微观动态 | 72.石油井动态; 73.地温; 74.电磁波 |
| 宏观动态 | 75.宏观现象 |

图5 观测手段和前兆异常项目分类表

而1966-2012年共有270篇共316次震例报告,其中4.0-4.9级地震12次,5.0-5.9级地震187次,6.0-6.9级地震60次,7.0-7.9级地震19次,8.0-8.9级地震2次。这316次震例涉及到1301项测震学类异常,768项形变类异常,429项电磁类异常,1265项流体类异常,1181项宏观异常。

这些异常变化出现在很多公开发表的文章中。一般异常的持续时间和异常幅度与未来的地震强度有关,异常的空间分布集中区与未来的地震震中有关。利用这些经验认识和统计关系可以对地震进行一定程度预测。

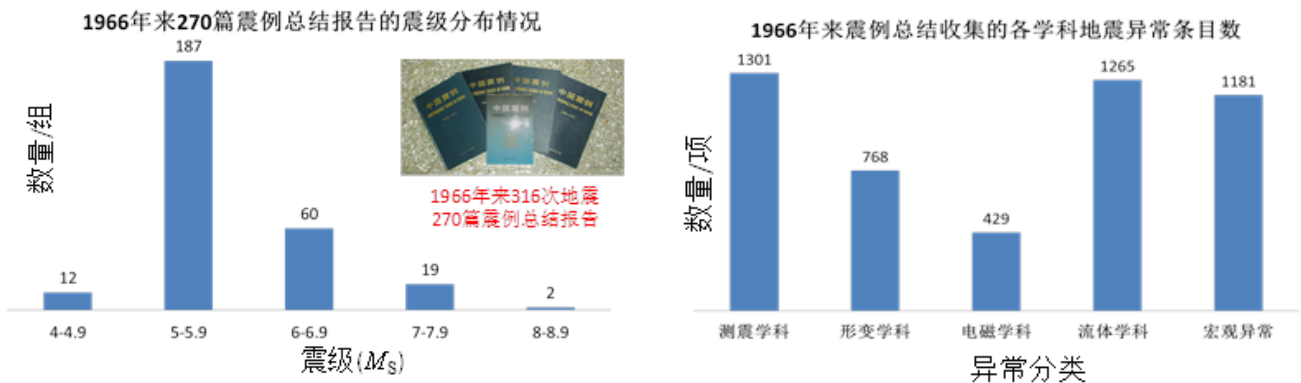


图6 1966-2012年震例数量(左)和各类异常数量(右)

如前所述,年度危险区的目的是对未来一年我国7级以上地震的危险性以及最高地震活动水平的趋势预测,对大陆西部(东经107度(含)以西)发生6级左右及以上地震、大陆东部(东经107度(不含)以东)发生5.5级左右及以上地震的危险地区预测,以及对首都圈地区(北纬38.5-41度,东经113-120度范围,现称北京附近地区)是否有发生5级左右及以上地震的

预测。根据动态监视资料分析获得的地震活动异常、地壳形变异常、地磁地电异常、地壳流体异常、综合异常指标、环境因子以及近年来发展的新技术、新方法分析结果,基于震例研究获得的经验关系,利用趋势预测的指标支撑地震形势判定,利用年度预测指标进行年度地震危险区判定。在此基础上利用短临预测指标进行短临跟踪预测(图4、图7、图8)。

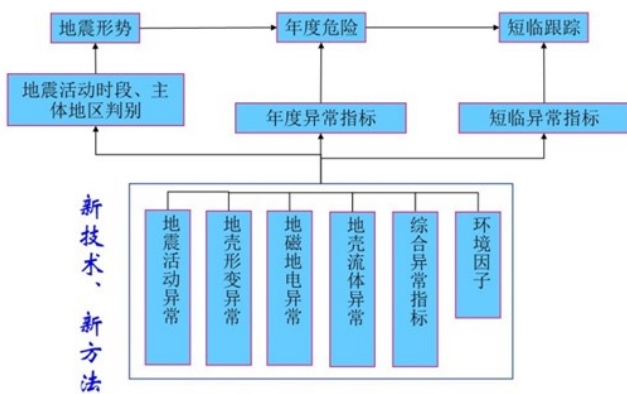


图7 年度地震预报思路

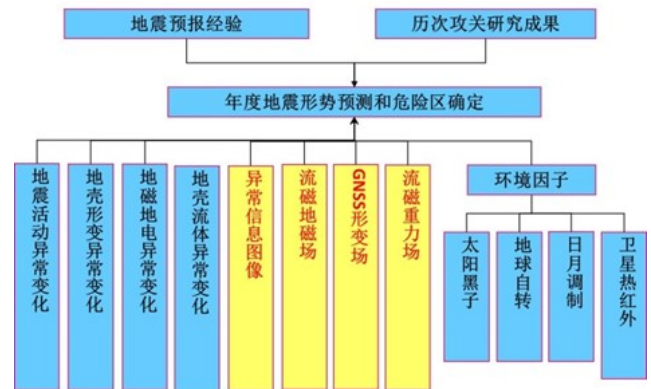


图8 年度地震预报技术

(1) **地震大形势的分析**：抓大范围、长时间地震活动大动态、大格局的变化，把握地震形势发展趋势；

(2) **年度危险区的分析**：抓中期异常（震例+经验+攻关成果+新技术方法），由中期异常集中区判定发震区域，特别重视条带空区等异常图像和重力、地电等异常对地点判定的贡献；由异常规模和持续时间判定震级；

(3) **短临跟踪分析**：抓突变、高频成分异常，特别重视异常数量的突增和地磁低点位移对时间预测的贡献；特别重视中小地震异常图像对地点预测的意义；除重点危险区外注意面上异常动态演化。

图9 年度预测关键技术1-长中短临阶段判定各有侧重

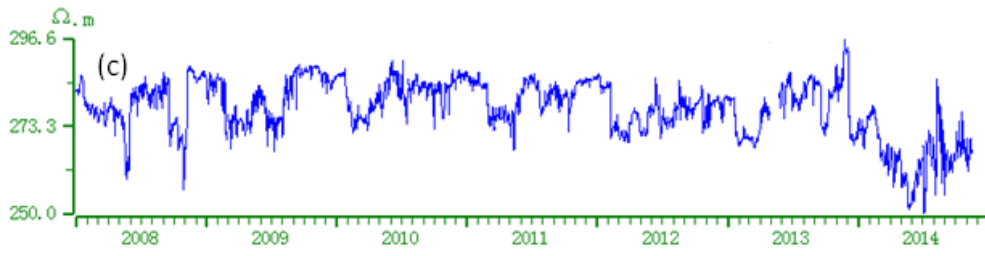
总体看，长、中、短临预测技术各有侧重。对地震形势的预测主要从大范围、长时间的地震活动演化过程和前兆观测中期异常分析。而年度危险区的预测主要抓中期异常，由中期异常集中区判定发震区域，由异常规模和持续时间判定震级（图9）。

我们在2012年度首次提出来了地点、强度和时间的分类（图10）。地点预测主要是地震调带、形变高速度带、波速异常区、红外强波辐射异常区等等。构成地震活动异常图像的地震级别和图像规模、前兆异常持续时间的长短等是判断未来地震强度的主要的依据，而趋势异常是否出现同步的转折现象，是否有加速增长的过程是判定发震时间的主要依据。2012年提出这个思路后，逐渐在全国推广开了。2015年度全国地震危险区汇总报告中开始采用地震三要素指标判定年度危险区（图11）。

地震三要素预测驾辕方法

| | 地点 | 强度 | 时间 |
|--------|-------------|------------|----------|
| 驾辕预测方法 | 孕震空区； | 构成孕震空区的地震级 | 趋势异常是否出现 |
| | 地震条带； | 别和规模； | 转折； |
| | 重力高梯度带； | 构成地震条带的地震级 | 异常数量是否出现 |
| | 形变高梯度带； | 别和规模； | 加速增长过程。 |
| | 波速异常区； | 前兆异常持续时间异常 | |
| | 红外长波辐射异常区； | 展布范围； | |
| | 小震震源机制一致性区。 | 蠕变积累。 | |

图10 年度预测关键技术2-时空强分析方法各有侧重



冕宁地震台/直流单装置地电阻率观测北西向

川滇交界东部地区地电异常典型曲线

四川道孚至川滇交界东部7级左右危险区依据汇总

| 危险地点依据 | 震级依据 | 时间紧迫性依据 |
|--|---|--|
| ①6级平静区域 ②5级有序分布区域（空区、集中活跃） ③震群活动集中区 ④流动重力异常区 ⑤GNSS及断层观测闭锁区 ⑥短期异常相对集中区（高水位异常持续，CO ₂ 准同步异常区） | ①6级平静区范围及持续时间 ②5级活动图像（空区、集中活跃等） ③前兆异常规模 ④流动重力异常幅度（>150微伽） ⑤GNSS及场地水准闭锁区域尺度 ⑥破裂空段估计 | ①5级高频异常与以往的对 比 ②5级空区打破 ③长宁、元谋窗的时间预测意义 ④流动重力预测时间 ⑤短期前兆异常集中出现 |

图11 2015年度全国地震危险区汇总报告中开始采用地震三要素指标判定年度危险区

三、年度地震预测总体效能

最后来讨论一下年度地震预测效能的整体情况。我们每年年度要给出全国年度危险期区的预测图，比如说2014年年度危险区（图12）。对年度危险区预测效能利用R值评分办法进行检验， $R值=1-虚报率-漏报率$ 。这里虚报率就是预测有地震但没有发生地震的网格所占的比率；漏报率就是发生但没有被预测的地震占有所有发生地震的比率。这里的地震指5级以上地震，但同一地震序列内的5级以上地震视为1次。

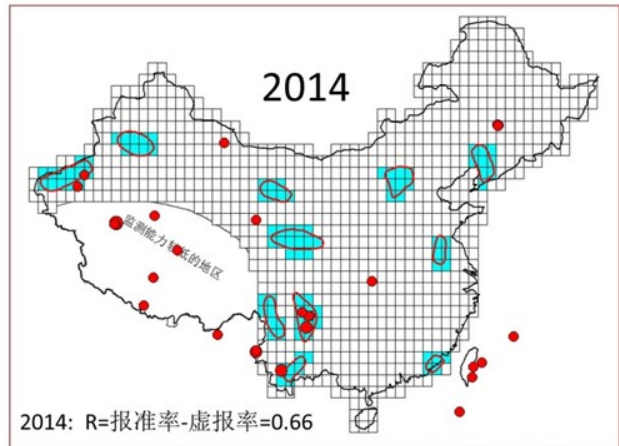


图12 2014年度全国地震危险区预测R值检验
 （图中红点为2014年实际发生的5级以上地震）
 （引自《2014年度全国地震重点危险区汇总研究报告（讨论稿）》）

2014年的评分是非常高的，为0.66。图13是我们对1990年以来的年度地震危险区预测效能进行得系统R值评分。图中可见，1990年代的R值比较低的，平均R值也就是0.194，到了2000年代10年尺度平均R值达到了0.345，再往后就是2010年代，平均R值为0.353，总体上年度预测还是取得了长足的进展。如果仅考虑6级以上地震的情况，2009年到2018年，我国大陆一共发生了16次6级以上的地震，其中9次发生在年度地震危险区，报准率为56%，总体看比5级以上地震的检验效果好些，即我们对6级以上地震的预测能力比对5级以上地震的预测能力高一些。

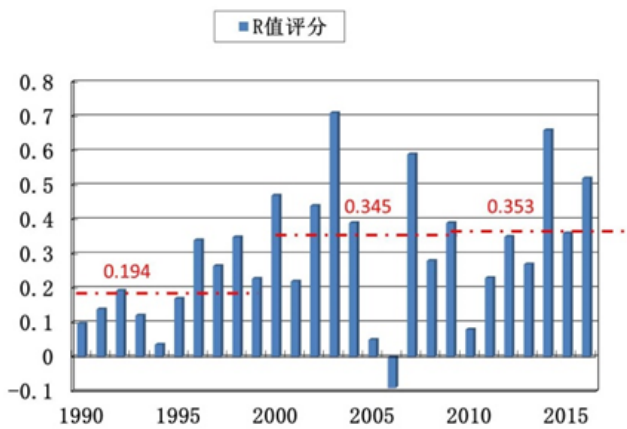


图13 1990年以来年度危险区预测R值评分

对1996-2005年全国重防区的检验结果是：15%的预测面积覆盖了60%的地震损失（张国民）。从6.8级以上地震看，在此期间发生的12次6.8级以上的有10次（包括边境地区的），报准率达到83%，显示我国地震中长期预测效能还是比较好的，比年度预测能力高。

对于地震预测，我是比较乐观的。随着技术的进一步提高，我们能得到的地壳变形的参数越来越多，我们对地震孕育过程的认识会越来越深刻。未来我们要从经验预报转向物理预报。经验预报我们靠寻找异常、类比分析，未来物理预报我们要靠建模和模拟。未来空间探测技术、深部观测技术等将使我们获取更多的地震孕育信息，为地震预测模型的建立和数值模拟检验提供足够多的数据。希望今后中国地震科学实验场能够逐步实现地震物理预测。