

# 地震监测预报预警科技进展和发展趋势

■ 地震预测研究所

- 地震数值预测研究和传统方法评估试点项目
- 地震监测站网评估试点项目
- 人工智能地震监测分析系统完善与应用
- 地震危险区精细调查和地震现场综合科学考察试点项目
- 预报员访学试点项目
- 地震信息专题图试点
- 地震重点监视防御区公共服务试点



## 地震监测预报预警科技进展和发展趋势\*

### ■ 地震预测研究所

#### 一、关于地震监测

1、随着连续宽频带地震记录的广泛采用,现代地震观测已全面进入“连续波形时代”。与此相应,主要基于连续地震波形的互相关和地震波形的“互换定理”,噪声相关函数(NCF)、模板匹配、虚拟台站等一系列技术得到广泛应用,并开始尝试进入一些地震监测系统的常规工作。

2、连续实时 GNSS 数据在地震监测中的应用,是大地测量与地震学之间的交叉学科研究的重要成果。与主要是“速度型”记录的宽频带地震数据相比,GNSS 观测由于可以直接反映“零频”信息而具有“天然”的“比较优势”。

3、与连续地震波形分析和地震 -GNSS 观测资料联合分析相应,对“低频地震”或“寂静地震”的研究,现已开始形成较系统的“地震目录”。这些研究主要在板块边界地区开展。中国大陆是否存在这些“低频地震”,如果存在,那么它们与可见的地震之间是什么关系,对这个问题的回答不管是肯定的还是否定的,都具有重要的科学意义和实际意义。

4、面向现代城市的“城市地震学”因最近以来密集地震观测技术和人工震源地震学的发展而引起越来越多的重视。“压缩感知”技术作为对加密观测策略的一种有效的补充,在地震探测、地震观测等方面展现出值得注意的发展前景。

5、在监测系统的设计、部署、维护、更新方面,面向 CTBT 监测的国际监测系统(IMS)有很多经验值得借鉴。近年来 CTBTO 筹委会临时技术秘书处(PTS)组织的“科学与技术(SnT)”系列会议,值得相关研究的重视。同时,可能主要是因为政治方面的原因,美国相关的国家计划(RMR, Review of Monitoring Research)的相关资料愈加封闭。

6、基于现代信息技术,目前在地震观测方面已形成比较成熟的“公共服务产品”(尽管国情不同,不一定所有国家或地区都称之为“公共服务产品”)。美国 USGS 按照震前、震时、震后不同时间段提供的“科技产品”,例如 ShakeMap 等,有些已形成“品牌”。

7、无论是在地震监测方面,还是在地震预测或地震危险性评估方面,作为背景的基本地理信息、地球物理场的勾画(Survey 或 Mapping),始终是非常重要的工作。这些工作也同时包括地震目录、地震观测报告、地震参数目录等。

8、在新型传感器的探索和应用方面,近年来值得注意的进展之一是光纤地震仪的发展和通讯光缆在地震监测中的利用。无论是从新型地震传感器的角度,还是从新技术条件下利用社会力量提升地震监测能力的角度,这都是一项值得关注的进展。在相关领域,甚至有“设备可用、方案可行、结果可靠、前景可见”的说法。由光纤分布式声波传感器(DAS)组成的超

\* 支撑新时代防震减灾事业现代化建设试点任务之五“预报员访学试点项目”成果。

密集地震观测台阵，具有便于密集部署（high density/distributed）、性能稳定（robustness）、成本较低（low cost）的特点，已逐步从“设备成熟”转化为“系统成熟”。值得指出的是，地震观测的物理极限尚未达到，密集观测仍是一项有效的发展策略，并不断产出新的成果。

9、人工智能（AI）在地震监测中的应用，成为新一代地震监测系统的一个标志性技术。NEIC 和 IRIS 等机构将全面采用 AI 技术，若干国家实验室和大学

一直在支撑这一工程。

10、从产业领域得到启示，并将产业领域的一些可用技术引入地震监测，一直是地震学的一个重要的发展趋势。相关的重要技术包括光纤地震仪、人工震源、人工智能技术等，这一趋势仍在发展。不过，重视相关技术应用的“hyper cycle”（图 1），对合理应用相关技术是重要的。

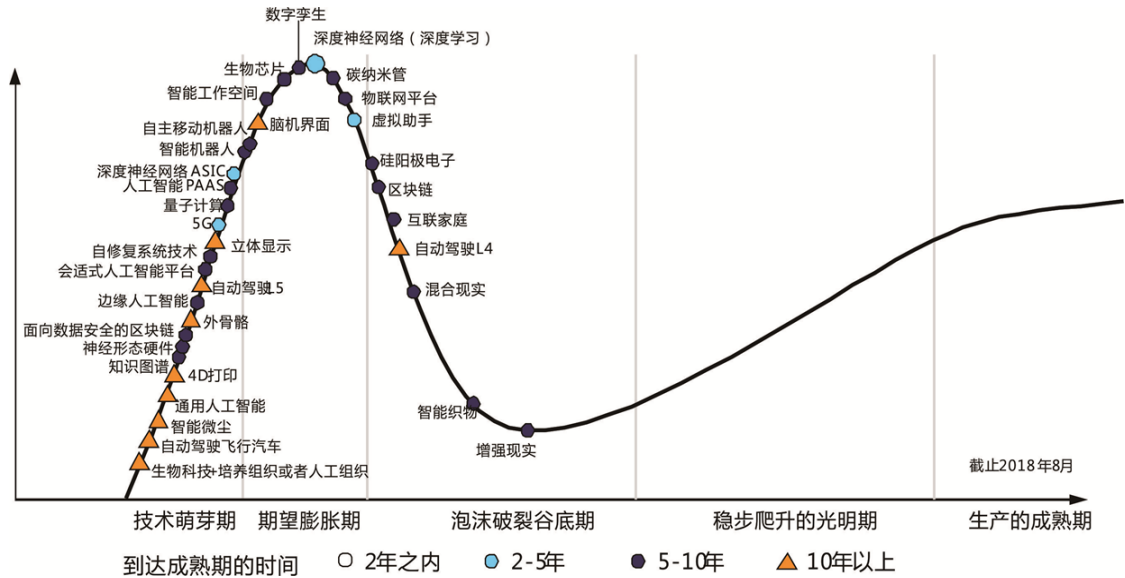


图 1 新技术的 hyper cycle，横坐标为时间（阶段），纵坐标为期望值，图中各点为相关的技术

二、关于地震预测预报

1、迄今人工智能（AI）技术在地震科技中的应用，主要是在连续实时地震波形分析方面。但事实上，针对地震活动，特别是针对“前兆”观测数据的 AI 应用，无论是在理论上还是在地震预测的实际应用方面，也具有重要的发展潜力值得开掘。近年来的地震预测预报研究，用信息化的语言说，较多地关注“本体技术”，而对相关的“赋能技术”的发展关注不够。AI 应用也许是改变这一局面的重要的切入点。

2、与长期地震预测相关，“新确定性地震危险性评估（NDSHA）”与“概率性地震危险性评估（PSHA）”之间的争论仍在继续，其中既有需要通过实际地震检验的问题，也有各自的理论和实际问题需要解决或澄清。类似于中国地震科学实验场这样的“野外实验室”是对相关问题进行“判定性”实验的理想场所。

3、与中期地震预测相关，GPS 观测数据的应用将“中期 - 中尺度地震预测（intermediate-term medium-range earthquake forecast）”发展为“中期 - 小尺度地震预测（intermediate-term narrow-range earthquake forecast）”，是相关方面一个值得注意的研究动态。

4、与短期地震预测相关，L’ Aquila 案件终于画上句号。地震学家、应急管理部门从中要汲取的经验教训很多，但最重要的也许是如何把有科学根据的、

但能力有限的关于地震趋势的信息正确地传达给公众。其中媒体的作用颇为复杂，需要研究、约束、引导。

5、地震灾害情境（disaster scenario）构建，在理论上应该说还是比较清楚的，但实际操作上仍有若干问题需要解决。不过无论如何，与简单地告诉公众地震的信息（如预期发生的地震的三要素范围，即使是概率形式的表达）相比，与灾害情境相联系的信息因其与公众之间的“距离”更近而更易于被接受，代表了“减轻灾害风险（DRR）时代”地震预测应用的一个重要方向。

6、“面向预测的监测和模拟（monitoring and modeling for prediction）”的设计在实际应用中仍有巨大的发展空间。很多情况下，并不是不知道应如何进行监测，但现实是一些地区的监测系统在任何意义上都无法支撑所能得到的预测方面的结论。地震预测研究中“brick-by-brick”的发展战略，既包括技术、方法上的循序渐进，也应包括观测部署的逐步改善。

7、地震预测的基础研究和科学检验仍是国际地震研究中颇受关注的领域。相关的国际合作研究计划至少包括“地震可预测性研究国际合作（CSEP）”（目前已发展为 CSEP 2.0）、“APEC 地震研究计划（ACES）”（ACES 2.0 中把 Earthquake Simulation 改为 Earthquake Science）等。统计地震学国际会议（StaeSei 会议）每

两年举办一次，也逐渐形成了自己的特色优势。这一领域中逐步发展的分析工具，如 ETAS 模型，开始进入地震监测预报的常规工作。随着这些计划的开展，数值地震预测展现扎实的进步（尽管不是所有工作都冠以“数值地震预测”）。值得注意的是，中国专家在 ACES 计划和 StatSei 会议系列中都曾扮演重要角色，ACES 的 logo 上的“CAP”就是中国地震局分析预报中心。

8、人类活动诱发 / 触发地震的研究，不仅对认识地震孕育的规律具有重要的启发意义，而且因其与现代工业活动的联系而在经济、社会可持续发展中具有重要的战略意义。近年来国际上相关的报道很多，需要研究的科学问题也很多。

9、在“技术空间”里，地震前兆的“搜捕行动”仍在延伸，近年来空间技术在地震预测中的应用有很多报道，也组织了一些重要的国际合作项目。但“地震前兆陷阱”依旧存在：要想确认一个地震前兆，就需要大量的观测投入；但在这个地震前兆得到确认之前，大量的观测投入基本上是不可能的。这个博弈论问题的经典解答似乎是，最初并不是为地震前兆观测而设置的观测系统，其运转的效果和可持续性显著地好于专用于地震前兆观测而设置的观测系统；但是，在“大数据”时代，或许有可能发现新的解答。

三、关于地震预警

1、地震预警系统（EEWS）提供了研究地震的全新手段，其中很多手段（甚至包括地震定位和震级测定等）在传统的地震监测中是没有的。近年来值得重视的进展，是直接利用强震资料给出地震的破裂过程。

2、EEWS 由于其对系统性的强调和实际应用价值，而开始具有“系统工程”的特征。USGS 等单位发展的 EEWS 通过其逐步加入的新技术要素而定义不同的版本（或不同“代”的系统，图 2）。

3、重力观测在（特）大地震的预警中的应用，由于重力场的特点和卫星观测技术的进步，成为地震预警研究中一个有趣的发展方向。相关的工作虽然量上还不多，却颇值得重视。

4、类似于 DYFI（Did You Feel It ?）计划的“大众地震学（citizen seismology）”继续发展，一定意义上可看成是新技术条件下、新社会环境中的“2.0 版群测群防”。与手机、MEMS 强震仪等相联系的“公众地震仪 / 强震仪”的发展使相关工作呈现更大的发展空间。另一方面，如何从技术、制度、标准、法律等方面对“2.0 版群测群防”加以有效的支持、辅助、约束、引导，有很多跨学科问题需要研究。从“大数据”的角度开展地震监测、预测、预警方面的研究和应用，概念层面的讨论较多，但相关的实际工作一定意义上还没有真正开始。

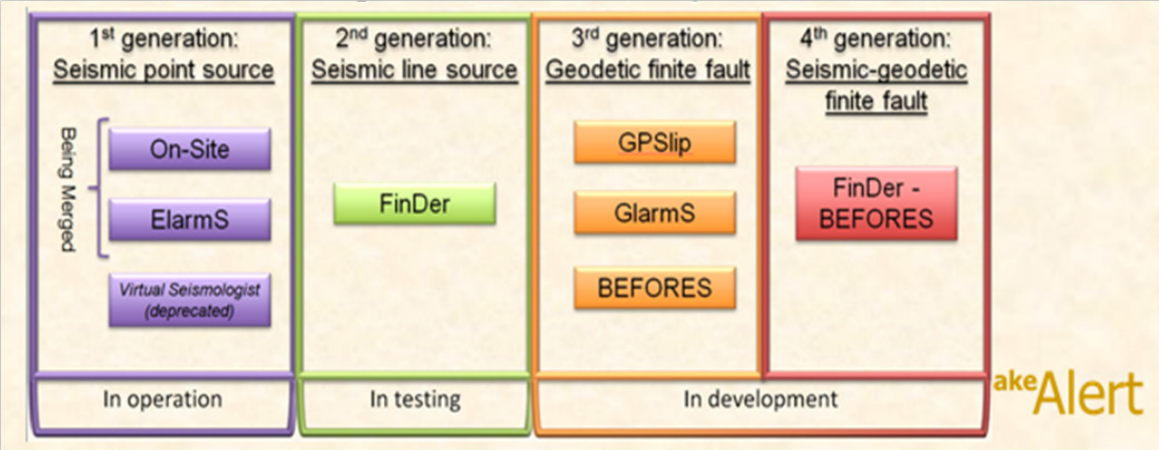


图 2 由进入系统的新技术（新算法、新手段）所定义的不同代的地震预警系统（USGS 2017 年资料，目前应已有新的发展）



加强科技创新支撑新时代防震减灾事业现代化建设  
全国地震重点监视防御区公共服务



工作通讯目录

|                                                     |                      |
|-----------------------------------------------------|----------------------|
| 关于观测仪器中的模拟滤波与数字滤波                                   | 2020 年第 1 期 (总第 1 期) |
| 推进新时代地震预测研究现代化框架方案 (2020-2035 年)                    | 2020 年第 2 期 (总第 2 期) |
| 2020 年 6 月 26 日新疆于田 $M_s6.4$ 地震虚拟科学考察试点工作报告         | 2020 年第 3 期 (总第 3 期) |
| 研究所加强科技创新支撑新时代防震减灾事业现代化建设试点<br>行动方案 (2020 ~ 2022 年) | 特刊第 1 期 (总第 4 期)     |
| 地震预测基础研究成果支撑引领地震预测业务的若干基本问题                         | 2020 年第 4 期 (总第 5 期) |
| 地震监测预报预警科技进展和发展趋势                                   | 2020 年第 5 期 (总第 6 期) |

编委会

---

王武星 王琳琳 田勤俭 汤 毅 孙汉荣 吴忠良 李 营 杨林章 张永仙 张晓东 邵志刚  
赵翠萍 黄 伟

编辑部：

---

中国地震局地震预测研究所科研管理部  
E-mail:sycglb@ief.ac.cn