

# 地震预测预报 相关的重要科技挑战

(2017年)

“地震预测预报二十年发展设计”工作组

地震出版社

# 地震预测预报 相关的重要科技挑战

( 2017年 )

“地震预测预报二十年发展设计”工作组

地震出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

地震预测预报相关的重要科技挑战. 2017 年 / “地震预测预报二十年发展设计” 工作组编著. -- 北京: 地震出版社, 2017.3

ISBN 978-7-5028-3985-7

I. ①地… II. ①中… III. ①地震预测 — 研究 — 中国  
②地震预报 — 研究 — 中国 IV. ① P315.75

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 044900 号

地震版 XM3986

## 地震预测预报相关的重要科技挑战

“地震预测预报二十年发展设计” 工作组

责任编辑: 董 青

责任校对: 孔景宽

---

出版发行: 地震出版社

北京市海淀区民族大学南路 9 号

邮编: 100081

发行部: 68423031 68467993

传真: 88421706

门市部: 68467991

传真: 68467991

总编室: 68462709 68423029

传真: 68455221

<http://www.dzpress.com.cn>

经销: 全国各地新华书店

印刷: 北京地大彩印有限公司

---

版 (印) 次: 2017 年 3 月第一版 2017 年 3 月第一次印刷

开本: 787 × 1092 1/16

字数: 58 千字

印张: 4.25

印数: 0001 ~ 1000

书号: ISBN 978-7-5028-3985-7/P(4657)

定价: 30.00 元

版权所有 翻印必究

(图书出现印装问题, 本社负责调换)

# 目 录

|                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------|----|
| 一、地震预测预报的现状 .....                                                    | 1  |
| 二、地震预测预报工作的思路和目标 .....                                               | 8  |
| 三、地震预测预报工作的重点和布局 .....                                               | 14 |
| 四、地震监测预报工作的重要实践议程 .....                                              | 19 |
| 五、地震预测预报研究探索的重要科学议程 .....                                            | 24 |
| 附录 1:《地震预报管理条例》 .....                                                | 29 |
| 附录 2:《中华人民共和国防震减灾法》规定的地震工作主管部门<br>地震监测七项责任 .....                     | 33 |
| 附录 3:《中华人民共和国防震减灾法》规定的地震工作主管部门<br>地震预测六项责任 .....                     | 35 |
| 附录 4:《国家地震科学技术发展纲要(2007~2020年)》提出的<br>与地震预测预报有关的重点领域、发展思路和优先主题 ..... | 37 |
| 附录 5: IRIS 战略研究报告(2008)提出的与地震预测预报有关的<br>重要科学问题 .....                 | 41 |
| 附录 6:与地震监测预报有关的行政法规和国家与行业标准 .....                                    | 46 |
| 附录 7:技术成熟度水平 .....                                                   | 51 |
| 附录 8:中国地震局《关于加强地震监测预报工作的意见》<br>(中震测发〔2010〕94号) .....                 | 53 |
| 后 记 .....                                                            | 62 |

## 一、地震预测预报的现状

### （一）作用和需求

地震预测预报是中国地震局的核心业务，是防震减灾的重要基础。长期地震预测通常是指时间尺度为十年的预测<sup>1</sup>。与其他科学分支（例如气象学）中的“长期预测”的定义不同，长期地震预测通常不是指一个较长的时间以后的一个时间范围内发生地震的概率，而是从现在开始起算的一个较长的时间里发生地震的概率，因而，通常所说的由于非线性效应（例如“确定性混沌”或“自组织临界性”）而引起的长期预测的实质性的困难，并不简单地适用于长期地震预测的情况。在我国，长期地震预测直接为十年或十五年尺度的“地震重点危险区”的确定，并进而为“地震重点监视防御区”（简称“重防区”）的确定服务，因而对减轻地震灾害损失风险具有重要的应用价值。

中期地震预测通常是指时间尺度为年的预测<sup>2</sup>。我国中期地震预测的两个重要的服务形式，一是三年时间尺度的“地震大形势”估计，二是年时间尺度的“年度地震趋势会商”，这两种地震趋势估计对于有重点地加强防震减灾准备非常重要，并且因其是一项长期坚持的、真正意义上的“向前预测”检验，而具有不可取代的科学价值。

一次强震发生后对地震序列类型的判断和在“主震—余震型”序列的情况下对余震趋势的预测（包括余震持续时间、最大震级、最可能地点等的预测），具有相当的科学基础，对震后紧急救援行动的部署和震后重建的规划等

<sup>1</sup> 《地震预报管理条例》（中华人民共和国国务院令第255号）规定，地震长期预报“是指对未来10年内可能发生破坏性地震的地域的预报”。

<sup>2</sup> 《地震预报管理条例》规定，地震中期预报是指“对未来一二年内可能发生破坏性地震的地域和强度的预报”。

均有十分重要的意义。

短临地震预测，包括短期预测（即对3个月内将要发生地震的时间、地点、震级的预测）和临震预测（即对10日内将要发生地震的时间、地点、震级的预测），目前还是一个科学难题。类似于1975年海城地震那样具有明确的“前兆信息组合”的地震，仅占全部地震的一个非常小的比例。在一些罕见的幸运情况下，依靠现有的观测手段和预测预报经验，可以对一些类型的地震进行某种程度的短临预测预报。中国科学家不放弃这种几率很低的预测机会，是为了最大限度减轻人民生命财产损失。

近年来科学上的一个重要进展是，对于一项短临预测研究成果究竟在科学上有什么价值，已形成规范的检验标准。其中最为重要的三个概念，一是环境干扰排除的规范，二是异常信息识别的判据，三是预测预报效能的检验。按照科学规范的检验标准，通过震情会商，考察“疑似”的“异常”是否可能具有科学价值和实际意义，从而在出现一些“异常”或“预测意见”的情况下能够做到科学分析、理性判断、及时处置、有序应对，也是社会对地震预测预报业务的一个重要需求。

防震减灾科技中，一般将预测作为科学界内部关于地震趋势的判断，将预报作为根据科学判断通过政府传递给社会的信息，这个约定与其他领域不尽相同。值得指出的是，在地震预测预报业务的“需求侧”，经济、社会的发展和技术的进步，给地震预测预报的应用带来新的发展空间。例如，在没有“灾害情境构建”技术的条件下，公众对地震预测预报信息的应用只能是“大而化之”的。在没有地震早期预警（earthquake early warning）技术的条件下，人员疏散是对短临地震预测预报的最有效的响应对策，但同时虚报的负面影响也随之而来并且随着经济社会的发展而愈加严重。然而，随着新技术的发展，这种情况开始出现根本性的变化。信息时代，“精准信息”与“精细信息服务”之间

的区别愈加明显，就是说，恰当地使用不够精准的信息，仍可以根据服务对象的需要提供精细的信息服务；相反，精准的信息如果使用不当，也达不到精细服务的要求。这是在设计二十年时间尺度的地震预测预报业务时有必要认真面对的一个重要的发展趋势。

### （二）能力现状

我国地震预测预报研究与实践已有多年的历史。1956年，我国第一次在国家规划中提出地震预测预报研究问题。1966年邢台地震后，中国科学院等多个部门组织力量开展地震预测预报研究。1971年成立了国家地震局，协调全国范围的地震预测预报研究与应用。1975年海城地震的成功预报，是人类历史上第一次成功的（同时也是幸运的）、具有减灾实效的强震预报。几十年来，不管国际上关于地震预测预报研究和应用有什么争议，我国地震预测预报研究一直在坚持不懈地开展。半个世纪以来的地震预测预报研究和探索，由于其长期性、连续性和真正意义上的向前预报检验的实践性，在国际地震预测预报研究中具有独特的科学价值。

目前我国地震预测预报研究与应用的能力现状是：

基于重点地震危险区的重点监视防御区，对7级左右及以上地震、人员伤亡和灾害损失的预测效果较好。重防区的划定，能够作为科学依据，在用有限的人力物力有重点地加强地震监测预报、抗震设防、应急应对能力建设，以提升全国防震减灾综合能力的对策实施中，发挥了重要的指导作用。但目前值得注意的是，针对重防区的强化监测措施，其科学性和系统性都亟待加强。

年度危险区，对于6级左右地震的预测效果较好。 $R$ 值统计表明年度会商的预测结果显著高于随机预测结果，因而具有值得重视的科学价值；同时，显著

高于随机预测的结果，很大程度上是根据对地震活动性的认识得到的。年度会商在防震减灾工作中的实际应用价值和在地震预测预报研究中长期坚持不懈的向前预测检验，都是中国地震研究的“亮点”。但目前年度会商的机制有待健全和完善；国家地震预报评审委员会的年度会商评审亟待改进。

基于周、月会商工作机制，通过密切跟踪地震活动与前兆异常变化，在部分5、6级地震发生前做出了一定程度、较为准确的短期预测预报，得到政府和社会的认可。短期预测总体水平不高：6级地震预测成功率约40%，5级地震预测成功率仅3%。因此目前的科学认识和工作机制对6级地震的短期预测预报有一定的实际效果。同时，对7级以上强震经验不多：7级以上强震的成功的短临跟踪和预测预报，只有20世纪发生的1995年云南孟连7.3级地震等少数震例。

基于地震研究的国际进展和对地震前兆、地震活动的认识，目前已具有对给定的地震预测预报方法和地震预测预报意见进行科学评估的能力。这种评估和检验可以排除很多在科学上站不住脚的“预测预报”，从而为安定社会做出贡献。但目前这方面的公众科学理解亟待加强，同时来自媒体的干扰过大，是中国的一个特殊的社会问题。

基于对地震过程的认识和对地震的快速分析，已经有能力对地震序列类型和余震趋势做出比较好的总体判断，从而帮助进行震后的救援、恢复、重建。但目前余震的准确预报还不过关。汶川地震的抗震救灾中，根据多学科综合研究的成果，对地震类型和余震趋势做出了比较好的判断。同时汶川地震的实践也表明，勉强进行的具体余震的预测预报，实际上并不能带来正面的减灾效果和社会效果。

近年来，随着我国经济社会的快速发展，公众对减少地震造成的损失的要求、对减轻地震灾害损失风险的要求越来越高，对各类地震预测预报信息的针对性、时效性、科学性和透明度的要求越来越高，地震预测预报相关的社会治

理和公共服务的体系化、精细化、个性化,已成为可以预见的发展趋势。

### (三) 科技条件和科技进展

地震预测预报业务是典型的研究型业务,必须依靠科技创新。地震预测预报的科学问题的研究,从基础科学发展的角度说是人类挑战现有科技能力极限的一个坚持不懈、百折不挠的尝试。一方面,地震预测预报研究的进展,有赖于各相关学科、特别是地球科学领域各相关学科的重大进步;另一方面,地震预测预报研究的进展以及在探索过程中所形成的一系列成果,对于科学发展和实际应用,都有重要意义。

地震预测预报问题一直是国际地震科技领域密切关注的科学问题之一。国际地震学与地球内部物理学协会(IASPEI)分别于1991年和1997年通过决议,支持国际合作地震预报实验场项目。2005年,IASPEI通过决议,支持监测地球介质动态变化的主动源监测工作。2009年,IASPEI通过决议,支持地震预测预报研究和地震预测预报方法的科学检验。

当代地球科学的学科交叉和集成,带动了地震科学技术的不断创新,也为向地震预测预报这一世界性科学难题发起新的冲击创造了条件。新的观测技术和实验技术,给地震预测预报研究不断注入新的生机和活力。地震科学经过一个多世纪的发展,已成为一个以观测为基础、理论体系较为完整、紧密结合实际的科学领域。地球过程观测的长期优势开始显现,为做出新发现和回答很多久已提出的科学问题提供了良好的条件。“实验”的概念大大扩展,面向地球的大尺度可控实验与主动探测和密集观测之间的界限开始突破。高性能计算成为科学数据处理和地球过程模拟的重要手段。所有这些,都为地震预测预报的研究和实践提供了新的发展基础。

就全球尺度看，绝大多数强震分布在板块边界带上；就中国大陆的尺度看，绝大多数强震分布在活动块体边界带上，这说明关于地震和地震预测预报问题，是可以有科学认识基础的。但是，教科书中给出的地震的“弹性回跳”模型，只是一个高度简化的情况，如果现实世界果真如此，那么地震的预测预报问题将会简单得多。按照目前的认识，从物理上看，与中长期地震预测预报有关的因素，至少要考虑板块相互作用、区域应力场、地壳形变分配、地壳中的韧性转换带、地震断层带及其上的“闭锁带”、历史地震和古地震的情况等；与短临地震预测预报有关的因素，则至少要考虑地震断层带的结构和“性能”、地震断层带上流体的作用、地震的“触发”、“寂静地震”的作用、与区域孕震模型相适应的可能的“前兆”现象、可能的“前兆”机理等。这些认识构成了目前地震预测预报研究的科学基础，也同时说明了地震预测预报研究的限度及这种限度的原因。重要的是，围绕上述关于地震成因和地震预测预报的科学认识，可以有针对性地设计和实施具体的观测和监测项目，以约束模型、检验假说、实施监测、探索预测预报的可能性，并基于现有的预测预报能力为社会的防震减灾服务。

关于地震预测预报问题，近年来在科学认识、探测技术、观测积累等方面都有显著进展，但在一些关键环节上，例如，地震破裂是如何“决定自己的大小”的、地震断层带上的流体究竟扮演着什么角色、地震过程中能量是如何分配的，等等，现在还没有满意的答案。解决这些问题的根本方法，是面向地球的观测研究。近年来发展的宽频带地震台阵、主动源探测、地震科学钻探和深部观测台阵、连续GPS测量、深源气体观测等新的技术，与此相关的“尾波相关干涉”方法（ $C^3$ ）、“重复地震”方法、地震各向异性、地震“应力触发”计算等新的方法，与此相关的“间歇性滑动与颤动”（ETS，或“寂静地震”）、地震断层“润滑”（fault lubrication）效应、“固定凹凸体”（persistent

asperity) 现象等新的发现, 都是试图解决这一问题的新的技术、新的方法和新的发现。值得一提的是, 在国际地震科学的分类中, 这些内容常常并不属于(狭义的)“地震预测预报研究”, 但这些科学进展却是地震预测预报研究所必备的基础。

事实上, 长期的科技发展和学科演化, 已使我国地震科技和防震减灾中所说的“地震预测预报”, 与国际上所说的earthquake prediction有了很大的不同。在我国, “地震预测预报”包括长中短临预测预报和震后趋势估计的一个相当宽的范围, 而“地震预测预报研究”则包括了从地震构造、古地震研究到震源区深部地球物理、地震断裂力学, 从地震观测技术、地球物理场和地球化学观测技术到地球内部物性的地球物理探测、地震断层带物理的一个相当广泛的领域。关于国际地震预测预报研究的一个广为流传的、误导性的说法, 即国际同行“大都不关注”地震预测预报问题, “只有”中国地震学家坚持开展地震预测预报研究, 其主要成因, 就是这一类似于“龍”和“dragon”的文化差异。这是在借鉴其他国家和地区的经验时应该注意的一个情况。

## 二、地震预测预报工作的思路和目标

### （一）地震预测预报工作的思路

#### 1. 脚踏实地的发展思路

尽管地震预测预报是一个世界性的科学难题，但目前科学界的主流共识是，在科学上，要通过坚持不懈的探索，尽可能地扩展对地震的“可预测性”（predictability）的科学认识；在技术上，要通过研发，最大限度地利用现有的关于地震成因机理和地震预测预报的科研成果；在工程上，要综合性地考虑现有的科技能力和社会需求，以求达到最大限度减轻地震灾害风险的效果。

现在比较清楚的是，在现有的科学认识条件下，地震的一些性质看来是可以预测的、另一些性质现在还无法预测。对这些可预测的性质的预测，可以用来为社会服务；这些可预测的性质，同时也是进一步研究的基础。地震预测预报，越来越从一种试图“毕其功于一役”的研究路线（silver bullet approach）转变为一种“脚踏实地、一步一个脚印前进”的研究路线（brick-by-brick approach），即通过不断深化对地震的“可预测性”的科学认识，循序渐进地提升地震预测预报的科学认识水平和实际预测能力。

#### 2. 建设体系与提升能力结合的发展思路

经过20世纪80年代以来坚持不懈的建设和发展，我国地震监测系统已全面实现数字化、网络化、规模化的历史性跨越，同时以信息化、智能化带动地震监测预报工作现代化的发展趋势呼之欲出，信息技术全面渗透并正在深刻影响着地震监测预报的发展理念、发展方式，地震监测预报业务的服务结构、服务模式 and 地震监测预报管理工作方式。地震监测预报工作的发展，也必须适应

这一时代特征，逐步实现从局部规划设计、单一发展向全局规划和顶层设计转变，从技术驱动向业务服务应用需求驱动转变，从信息资源分散使用向资源集约共享利用转变，从单纯强调建设向建设与管理并重转变，从面向地震监测预报业务服务日常需求向面向防震减灾综合决策能力的转变。

科技部于2009年以国标形式（GB/T 22900—2009）引入技术成熟度水平（TRL）的概念，按照技术发展过程，将技术成熟度划分为九级。从基本原理（TRL-1）、技术概念（TRL-2），……到通过验证的系统（TRL-8）、实际应用的系统（TRL-9），需要经历基础研究、应用基础研究、应用研发、应用试验、实际应用的各个环节，即“科学到技术、技术到能力、能力到服务、服务到效益”的转化。地震预测预报工作的总体设计，应充分考虑现有技术和服务的TRL和未来一个时期的“TRL增量”。从TRL-1到TRL-9的“短路”，是在地震预测预报业务的系统设计中必须尽力避免的。

TRL最初是针对武器研制、航空航天等“大科学”工程提出的，不一定完全适用于地震预测预报。但是，借鉴TRL的概念和思路，及其背后的系统工程的概念和思路，可给我们的系统设计以有益的启发。从一定意义上，地震预测预报业务也应逐步实现“应用一代、试验一代、研发一代、探索一代”的发展方式。

地震预测预报业务涉及到三个层次的技术成熟度水平提升。就监测来说，一是从科学原理和观测设备到实际监测系统的转化；二是从原始监测数据到分析结果的转化。就预测预报来说，一是从监测业务到分析结果产出的转化；二是从监测分析产出到预测预报结论的转化。就预测预报的应用来说，一是科学界内部的预测预报结论到上报政府或通过政府传达给公众的预测预报意见的转化；二是从这些预测预报意见到真正能对防震减灾、抗震救灾有帮助的决策和措施的转化。

## （二）地震预测预报的发展目标

形成和不断提升与现代科技发展水平相适应的地震预测预报能力，形成和不断提升与防震减灾国家目标相适应的各类地震预测预报信息的科学、精准使用能力，是防震减灾事业发展的一项重要任务，也是地震预测预报工作的发展目标。

从数量的角度说，两种类型的指标具有同等重要的意义。一是具体的数字，例如表征地震监测能力的震级下限；二是“黑/白式”的“地图”，例如表征是否已经开始提供社会的科技产品的“产品清单”。目前地震预测预报工作的主要问题是：在地震预测预报公共服务方面，还有很多内容上的“空白”亟待填补；在地震预测预报研究与实践方面，还有很多技术性的“空白”亟待填补。因此在未来二十年中，地震预测预报研究和地震预测预报工作发展的更有意义的指标体系，应主要是对这些“填补空白”工作的程度的度量。

1. 针对《中华人民共和国防震减灾法》规定的地震预测预报相关的各项法律职责，全面部署地震预测预报研究。

1) 深入研究地震大形势预测的科学问题，给出地震大形势变化的科学判断的方法和指标体系；

2) 深入研究中长期地震预测方法，长期预测、10年预测、3年地震大形势预测以一定形式向社会发布；

3) 针对重点监视区，实现地震孕育模型的有效约束、地震孕育过程和“预期前兆”的有效监测、对地震预测预报方法的有效检验；提出地震重点监视区强化跟踪监测规范；

4) 深入研究年度地震趋势会商的方法，规范年度会商的结果产出，改善年度会商的预测效果；考虑年度会商结果的公布及其合理使用问题；

- 5) 深入研究地震预测预报方法的检验问题, 提出地震预测预报方法检验的技术标准, 实现地震预测预报方法检验的规范化;
- 6) 创新地震监测预报的体制机制, 建立对地震预测预报具有潜在意义的地球观测数据的收集、评估和质量保证机制;
- 7) 建立震情会商的理论基础、提高系统和技术规范;
- 8) 深入研究震后趋势判断和余震预测的科学问题, 建立针对地震序列类型判断和余震预测的技术系统;
- 9) 建立根据地震危险性概率进行风险决策的决策支持系统;
- 10) 建立地震预测预报意见发布的参考决策规范和地震预测预报意见取消的参考决策规范;
- 11) 建立应对特殊震情和特殊时段加强地震监测和震情跟踪工作的规范;
- 12) 建立地震震例总结的规范。

### 2. 基于新的科技进步, 提升地震预测预报能力、完善地震预测预报工作体系。

1) 全面部署“面向预测预报的监测和模拟”(Modeling and Monitoring for Prediction)工作。根据现有的科学认识和工作基础, 对一个特定地区的面向预测预报的监测和模拟的能力, 取决于针对该地区的“想定地震破裂”(scenario rupture), 提出地震孕育和发生的(不同版本的)模型; 针对地震孕育和发生的(不同版本的)模型, 进行观测约束; 根据地震孕育和发生的模型, 确定“预期前兆”; 针对地震的“预期前兆”, 部署监测系统; 根据当地的地震活动和地震监测的情况, 提出预测预报工作方案。首先, 应对全国各省、自治区、直辖市的“重点地震监视防御区”和年度地震危险区, 提出具体的预测预报工作方案。

2) 全面赶超地震预测预报研究方面的国际先进水平。全面掌握20世纪末、21世纪初出现的可能与地震预测预报直接相关的新概念和新技术, 重点是:

C<sup>3</sup>技术；地震断层带钻探技术；ETS观测技术；主动源探测技术；基于高性能计算的“地震模拟器”（Earthquake Simulator）技术。同时，部署必要的研究力量，进行基础研究和人才储备，保持对国际科技新进展做出快速反应的能力。

3) 有重点地消化、审视、发展中国地震学家在长期的地震预测预报探索实践中形成的思路和方法，并根据国际地震预测预报研究的进展，向国际同行系统介绍这些思路和方法。重点是：地震活动性分析方法；中长期地震预测预报方法；地震会商制度；震后调查和震例总结；地震前兆监测的质量控制；地震预测预报实践。

**3. 设计和完善地震预测预报服务于社会、吸纳和管理社会力量参与地震预测预报工作的公共服务产品和社会治理机制，提高地震预测预报对提升全社会的“地震灾害弹性”（earthquake disaster resilience）的贡献率。**

1) 进行各类技术用于地震预测预报的潜力和能力的评估，提出相应的技术规范，包括：

- ☐ 各类技术手段的组织实施规范；
- ☐ 各类技术手段的数据汇交规范；
- ☐ 各类技术手段的质量认证规范；
- ☐ 前兆异常判定和预测效能检验规范；
- ☐ 地震预测预报信息披露发布规范；
- ☐ 出现一些异常后进行响应性的强化监测的规范；
- ☐ 强地震发生后进行响应性的震后强化监测的规范。

2) 向社会推出各类地震预测预报产品，并确保这些产品的内容能够为社会所正确理解、能够在防震减灾中发挥作用。相关的科技产品包括：

- ☐ 50年地震危险性预测结果；

- ☐ 10年地震危险性预测结果；
- ☐ 3年地震危险性预测结果；
- ☐ 年度地震危险性预测结果；
- ☐ 地震序列类型判断和余震趋势预测结果；
- ☐ 地震背景场定期观测结果；
- ☐ 背景地震活动定期观测结果；
- ☐ 特定地区地震地质调查和深部地球物理调查结果；
- ☐ 地震预测预报方法或预测预报意见的效能检验结果。