

纪念邢台地震 40周年专栏

关于我国地震预报的几点思考^{*}

刘桂萍

(中国地震局监测预报司,北京 100036)

摘要 回顾地震预报的开始过程,并分析推动其发展的必然性,探讨我国地震预报的特点,对地震预报未来发展的长期性和艰巨性、努力的目标和发展方向等问题进行了讨论。

关键词 地震;预报;思考

中图分类号 P315.75 **文献标识码** A

1 地震预报发展的必然性分析

回顾美国、日本、前苏联和中国等国家地震预报的发展,其直接起因相似,即由破坏性大地震或极显著的地震事件所引发。日本1923年关东大地震发生后,科学家认识到随着日本经济的发展,地震的威胁将扩大,因此于1960年开始提出地震预报问题^[1]。1964年,在日本海岸发生7.5级大地震,现场现象表明必须有预报才能使人摆脱危险,并且在震前发现了地震前兆现象。1965年日本松代发生少见的震群活动,全日本民众在震惊之余,迫切要求作出预报,地震科学家正式提出了预报研究计划。在美国,1964年3月阿拉斯州加发生8.5级大地震,首府安科雷季是一个新建都市,主要建筑物虽然都考虑了抗震问题,但仍未能免于破坏。这次地震造成的灾害引起了美国政府的关注,成立专家小组进行研究,并于一年之后提出了一个地震预报与地震工程的十年

规划。在前苏联,1948年10月5日阿什哈巴德(土库曼加盟共和国首都)遭受了前所未有的地震($M=7.4$)破坏。之后,于1949年正式拨款,在科学院设立地震工作委员会,扩大地震研究,提出地震预报课题。随后在1953年制定了研究计划,内容包括震前现象的模拟探索、水准测量、地倾斜及相关的地球物理现象观测等工作。我国地震监测预报始于1966年3月河北邢台发生的强烈地震($M=6.8, 7.7$),震区人烟稠密,地震造成8000多人死亡。周恩来总理亲临灾区并代表党中央对地震工作做了重要指示,在地震现场首次开始了地震预报实践探索,从此,地震预报提到日程上来。

地震预报与气象预报是可对比的学科,而气象预报的开始也具有与地震预报类似的情形,即近代天气预报也是由一次灾害性天气引发的。1853—1856年,俄国与土耳其、英国、法国和撒丁等五国之间爆发了战争,即历史上有名的克里米亚战争^[2]。1854年11月14日,英法联军包围了塞瓦斯托波尔,陆战队准备在巴拉克拉瓦港湾地区登陆。这

^{*} 收稿日期:2006-03-10。

时风暴突然袭来，黑海上出现了狂风巨浪，风力达 11—12 级。法国军舰亨利四号沉没于黑海北部的佛斯陀，英法联军几乎全军覆灭。事后，法国作战部要求巴黎天文台台长勒弗里埃 (Le Verrier) 研究这次风暴。他向各国天文、气象学家发信，收集 1854 年 11 月 12—16 日的气象报告。这一行动得到科学家们的竭力支持，250 份回信迅速寄来。他依次把同一时间各地气象情况填在了一张图上，分析发现这次风暴是自西向东南移动的。当它经过欧洲，在其到达联军舰队所在地的前一二天，西班牙和法国西部已先受其影响。如果当时欧洲沿大西洋一带设有气象站，将风暴情报及时告知舰队，就可能避免这次风暴的袭击了。1855 年 3 月 19 日，勒弗里埃在法国科学院作报告，他认为，“若组织观测网，迅速将观测资料集中到一地，分析绘制天气图，便可以推断出未来风暴的运行路径”。之后不久，各国都先后建立起了天气预报服务机构。气象预报与地震预报虽然预测对象、发展进程及其历史环境等具有差别，但起始却具有相似的情形，也表明地震预报的开始和发展不是偶然的。

美、苏、日和中等世界开展地震预报的主要国家地震预报的直接起因及其与气象预报之间的相似性，表明地震预报的发展具有历史必然性，即当社会文明发展到一定阶段、对地震现象的认识能力达到一定水平时，人类为保护自身生命安全、减少潜在危险的威胁而产生对预报地震活动的需求，成为开展地震预测科学研究的巨大动力，并必然地导致了地震预报的诞生与发展。

地震对人类生命的毁灭和对财富的破坏，是地震预报的最根本的现实动力。众所周知的一些统计数字是最有力的证据。20 世纪，全球因地震造成 1 百多万人死亡，而在 21 世纪最初 5 年，地震就已夺去了 40 万人的生命。在对生命倍加珍爱的当今时代，这是人类难以承受的，对生命的保护将成为

越来越强的推动地震预报继续发展的动力。

科学技术发展是地震预报的条件动力。自 19 世纪末现代地震观测仪器发明和地震波处理技术发展以来，人类对地震有了越来越多理性的认识，使对地震进行预报的冲动和愿望不断高涨，即使在地震资料远不如现在丰富的 20 世纪初，已有一些科学家开始进行地震预报探索的努力。当今各种观测技术高速发展，对地震认识能力的不断提高必然将被竭尽全力转化成预知未来地震的能力。

人类感知自然界的好奇心是推动地震预报的另一个动力因素。预测经验自古就不是一件人类生活中特别罕见的事，恰恰相反，它在古今中外都十分常见^[3]。比如，人类早期对天文现象也经历了由神秘、好奇、认识到预测的过程。科学诞生的条件之一是人类的好奇心和求知欲^[4]。人们对未知自然现象表现出困惑和惊奇，有了惊异也就感受到了自己的无知，自知其无知者为了摆脱无知就求知识。地震是目前仍然认识不多的少数几种自然现象之一，对地震预报科学难题的突破已被一些科学家认为是未来地学取得突破性进展的标志之一。

地震预报发展几十年来，虽然其进展比预想的缓慢得多、困难比预想的大得多、挫折比预想的多得多，也存在地震能否预报的疑问，但从事、关注地震预报的学者越来越多，各国政府的支持越来越多，公众的需求也越来越高，表明地震预报必将不可逆转地向前发展。顺应社会和科学发展规律，全力推进地震预报、提高地震预报水平，是我们不可推卸的历史使命。

2 我国地震预报的特点分析

各国地震预报的起因虽然相似，但发展过程却有差异。自 1966 年邢台地震，我国大陆接连发生十多次破坏性极大的 7 级大地震，使我国地震监测预报得到迅速、广泛的

发展。由于其时国力极其有限,地震预报是当时历史条件下减少人员伤亡、减轻经济损失的主要途径,因此,对地震预报的需求十分现实和迫切,对地震预报、尤其是短临地震预报的要求十分明确。为此,我国地震预报遵循边探索、边研究、边实践的原则推进,并在很大程度上决定了此后我国地震预报具有了经验性、实用性、综合性、技术性的特点。

经验性表现在多采用定性的类比、归纳、外推的方法获得地震前兆异常与地震事件之间的经验性的相关关系,并籍以预测后续地震的三要素。这是在缺乏对地震现象的深刻认识的情况下,开展地震预报的必经途径。

我国是世界上唯一将地震预报纳入政府职能的国家,地震预报探索和研究直接和主要的目的是为震情跟踪和会商提供方法和技术,因而具有鲜明的实用性特点。

我国地震预报的综合性特征表现在,基于如果观测到的异常变化是地震的前兆,而由于地震孕育系统具有整体性,这些变化应互相自洽地反映这个过程的假设,因此在尽可能系统地综合各学科资料的基础上,对地震三要素作出预测。有时在有利的条件下,虽然对个别异常信度和认识理解的程度都不高,但也能取得一定程度的成功,呈现整体大于部分之和的效果。

技术性表现在,偏重于基于一定的经验性认识,利用一些数学方法,提出指标性的异常信息,作为地震预报的参考依据。目前处理地震目录的方法和参数已有几十种。

相比之下,其他开展地震预报的国家虽然在开始阶段也不同程度地尝试过经验性地震预报,但更多侧重的是首先获得对地震过程的认识,更加注重地震预报探索的基础性、理论性研究。

我国地震预报的上述特点,除受当时历史条件局限外,还部分源于我国科学技术文

化传统的影响。在某种程度上,我国地震预报的特点反映了我国古代科学技术体系的特点,而我国地震预报与欧美等国的差异,反映了两种不同科技体系的差异,或者说是我国古代科学技术体系与近代科学技术体系之间的差异。为什么中国不是近代自然科学的发源地与为什么中国地震预报具有与众不同的特点这两个问题,存在着一定的联系。古代中国人由于地理上的阻隔,独自走着自己的文化发展道路,形成了有特色的技术型、经验型、实用型的科技体系。然而,这种体系虽然创造了辉煌的中华古代文明,但却没能孕育近代自然科学。对于地震预报,在过去的四十年,我国经验性、实用性、综合性、技术性的地震预报体系在实际中也取得了举世瞩目的成效,但在近些年来,却有越来越多的专家提出疑问,即按照现在的模式发展下去,我们还能走多远?从严格的意义上讲,近代科学都属于经验科学,问题是我国地震预报中的经验,更多的是感性的类比和归纳,缺乏严谨的逻辑和严格的检验,定性多于定量,主观多于客观,虽然能发挥一定的作用,但难以持续发展,达到新的高水平。虽然我们经过几十年努力积累的地震预报经验,在实践中发挥了重大作用,挽救了成千上万人的生命,但其局限性是明显的,已不能满足进一步提高地震预报水平的需求。天文学家开普勒的惊人成就就是证明知识不能单从经验得出,而只能从理智的发明同观察到的事实的比较中得出的最好的例子。科学研究的金字塔模型是:塔底是观察经验,往上是事实之间的关系;起初是偶然的,再后是稳定的关系,最后是内容丰富的相关性^[4]。需要进一步提高经验的条理性、逻辑性和定量性,更符合近代自然科学的一般法则。

中国古代的科学技术体系,其突出特点是它极强的实用性,由于它的极端实用性,一旦现实提不出直接的要求,它就没有了发

展的动力^[5]。我国地震预报探索直接服务于地震预报实践，基础理论研究既缺乏直接的动力，也没有稳定的经费支持。到目前，虽然我们比世界上任何其他国家做出了更多次数的、更好的地震预报，但基础理论研究却落后于国际水平，其可能的后果将可能是虽然我国是最早开展地震预报的国家之一，并且曾一度处于世界领先水平，但最终取得突破性进展的并不是中国，就好比虽然中国古代科学技术很长时间处于世界领先地位，但并没有产生近代科学从而此后长期处于落后状态。

中国古代知识综合特征在科学与技术发展中打下深刻烙印。这种情况的一个后果是，当科学和技术发展已满足综合的要求时，它们独立的发展动力便减弱了^[3, 6]。在我国地震预报中，因为关注的是预报的效果，即综合效果，在取得一定进展，尤其是预报较为准确的情况下，由于综合效果好于各学科的单项效果，各学科的发展动力就被减弱了，未能及时开展前兆异常观测机理的深入研究，以至目前在一些单学科的观测技术、分析方法和机理研究方面已落后于国际水平，也不能再为综合预报提供创新性的方法和技术支撑，在某种程度上制约了我国地震预报的进一步发展。

近几十年来，基于经验认识和统计方法形成的地震预报技术占主导地位，虽然也提出了一些假说和理论模型，但即缺乏深入持久的研究，也没有开展相应的观测和实验以不断改进和完善，目前我国基础理论研究水平低于欧美等一些国家，也不能为经验预报提供指导。而经验性的科技体系发展是渐进式的，要实现地震预报跨越式的突破性发展，则需要基础理论的支撑。

总之，我国地震预报的特点，即是长处，也是弱点，即是我国地震预报处于世界领先地位并赖以取得进展和成功的基础，又在一定程度上是我国地震预报未来发展的局

限性因素。今后，我们既需继承已有的成果，继续加强实践探索、技术方法研究和经验的积累，更需要加强基础理论研究。

3 未来我国地震预报发展的思考

3.1 长期性与艰巨性

从动力和需求分析，地震预报是必须要做的，但地震预报探索将是长期和艰巨的，这是由其科学和社会双重属性决定的。

在科学上，地震预报目前至将来相当长一段时间将是世界性的科学难题，其进步受到多方面因素的制约。

科学，尤其是实验观测科学，其进步在某些时候完全是被科学仪器的发明所推动的。望远镜和显微镜的发明史可以作为技术对科学的重要意义的典型例证。地球物理观测技术是制约地震预报发展的关键因素之一。十九世纪末地震计的发明应用拉开了地震学发展的序幕，仪器记录地震目录为地震学发展提供了必不可少的基础数据。近几十年来数字地震计的开发应用，使从地震波获取的关于震源和地壳介质物性的信息大大丰富，对地震孕育发生机理的认识显著提高。近十几年来，空间观测技术，如 GPS 等的应用，对地震预报有明显的推动作用，区域应力场、运动场变化、震前电磁场异常变化已成为目前国际研究热点问题。然而，由于固体地球的不可入性，地震预报发展赖以依托的观测技术的开发和提高将是一个漫长的过程，由此可以预计地震预报探索也将是一个非常漫长的过程。

地震预报还与社会经济发展紧密相关，两者之间互相影响。一方面，社会经济的发展进步会对地震预报提出更高的要求，推动地震预报不断发展。主要表现在：社会进步发展，公众生活质量提高，自我保护意识加强，对影响自身生命、财产安全、生活质量的地震等突发事件高度关注，需要更多、更准确的地震预报信息；信息传播速度

已提高到极限,近来地震事件发生后,有关信息以接近电磁波的速度传播,公众往往在地震部门速报结果公布之前,已通过手机、网络就已获知,因此为作好社会安定就必须进一步提高地震速报、突发事件应对及震后趋势预测的时效性; 城市化水平提高,大城市和城市群地震灾害更为复杂^[7],影响的范围和领域都大大扩张,也要求对地震灾害事件的预测更加及时和准确; 更多的生产建设,如水电、核电设施、大型输油、气管线等,都面临地震安全问题,要求更多方面的地震预报服务。社会经济发展不仅对地震预报提出了更多、更高的要求,也为其发展提供了经费支持。城市是财富高度聚集的区域,能够为地震观测技术开发和基础设施建设提供更为充足的人力物力支持。另一方面,社会经济发展、生产活动范围的扩张,也使地震观测环境恶化,动摇了地震预报赖以发展的观测基础。如何在城市化环境下,继续推进地震预报是我们面临的新问题。

地震观测台网密度的大小也是关键因素之一。台网密度决定了信息的空间分辨率、能够提取信息的种类和数量。比如,如果不能提高地震定位精度,获得三维地震分布图象,就不能深入分析地震活动与地质构造的关系。在气象预报发展过程中,密集台网就发挥过关键的作用。

伟大的气象学家皮叶克尼斯提出了著名的环流定理,他曾说服挪威政府建立密布的观测网站^[2]。第一次世界大战期间,各国的气象情报都封锁起来,中立国挪威却深受其害,因为在它的国民经济中,渔业生产占有首要地位。海上作业格外需要天气预报,而这时却无法再取得国外天气预告,使渔业生产濒于绝路。当时主持挪威地球物理研究所工作的皮叶克尼斯认为,应该在船上设置气象站以取得海洋上的资料。而这需要花很多的钱,钱从何来?皮叶克尼斯找了挪威捕鱼

船队的管理人员,提出:如果渔民想多钓鱼,只要肯付出几条鲑鱼的钱,就可以获得较准确的天气预报。渔民们积极支持了他的建议。于是,在挪威及附近的海上建立了一个稠密的气象观测网。正是这个稠密气象观测网提供的大量资料,导致发现大气中存在温度变化剧烈的锋面,这是天气激烈变化的地区,而温带气旋产生在锋上。它不仅丰富了分析天气图的内容,而且使连续的天气图变成一张张反映气团、锋、气旋等天气系统的“连环图画”,使预报天气基本上可归结为预报这些天气系统的移动和变化。这是气象预报发展史上的一个里程碑。

地震台网密度除受对观测环境要求的限制外,很大程度是因为昂贵的价格约束。台网密度的大幅度提高有赖于廉价、高精度仪器的开发和社会经济发展为其提供强大的物质基础。这既是科学问题,也是社会问题,问题的解决将是一个漫长的过程。

对地震预报的需求在上升、各国在地震预报领域的探索方兴未艾,我国地震预报如果继续维持现有模式,不积极寻求突破,将处于不进则退的境地。未来地震预报任重而道远。

3.2 地震可预报问题

20世纪末,全球地震学家展开了关于地震能否预报的国际大辩论。如何看待对未来事物的预测,有两种对立的观点——宿命论和偶然论。

宿命论认为:未来的事物现在就完全确定了,是必然的,只能这样或那样发生而不能两样。这样一来,未来是完全可以预测的。偶然论否定了必然性,只承认偶然性。和宿命论相反,认为未来的事物现在不是完全确定了,而是完全没有确定。当然,在这种情况下,对它的准确预报也就无从谈起,无论多么高明的预言者,也不可能预报尚未确定的事物。

从辩证唯物主义的观点看来,没有“纯

粹的必然性”，具体的现象是必然性和偶然性的统一。偶然性是必然性的表现和补充。必然的事物是一定要发生的事物。与必然的事物不同，偶然的事物是可能发生也可能不发生的。任何现象都不是以纯粹必然性的形式而存在的，而是以个别的面貌出现的，也就是说任何现象都包含着偶然性因素，这样一来，必然性是通过偶然性表现它自己。在每一个个别现象中，除掉必然的东西外，还有偶然的的东西，具体现象是所谓必然的东西和偶然的的东西的总合。由此可见，偶然性补充着必然性。“宿命论者的错误就在于不承认“偶然性”。但是偶然性也有自己的原因，原因始终必然会产生一定的结果，这也就有了某种必然性。“一切有限现象都包含有偶然性的成分”，科学中所考察的只是“有限现象”；因此可以说科学所研究的一切过程都包含有偶然性的成分。由于必然性是事物发展中合乎规律的确定不移的趋向，是在一定条件下的不可避免性，这样就有其可预报性。另一方面，任何一种现象都有不确定的因素，它在现象存在的整个时期内影响着这个现象，这就是偶然的情况了。由于偶然性是事物发展中并非必定如此确定的倾向，这样就表现出不可预报性。由此可见，客观世界的未来发展既不能完全确定，也不能够完全不确定。它有确定了的一面，也有还没有确定的一面。在某种意义下是可以预报的，在另一种意义下是不可以预报的。

必然性和偶然性，可预报和不可预报等等都是对立的范畴，但不是绝对对立的，非此即彼。恰巧相反，我们所处的客观世界是对立面的统一，必然性和偶然性的统一，可预报和不可预报的统一。非此非彼，亦此亦彼。不是可预报的，也不是不可预报的。是可预报的，也是不可预报的。

地震是可预报的，也是不可预报的，要弄清的是哪些是可预报的，哪些是不可预报的，即我们对地震预报能够达到的程度的

预测，确定科学合理的奋斗目标，是非常重要的。这也涉及到如何看待地震预报水平的问题。地震预报水平的提高，一方面是对地震三要素的预测更加准确，另一方面，还应是预报的信度、预报水平的稳定性的提高，例如，对某种类型、某个地区地震的预测保持稳定在一定的成功率，对地震形势的把握稳定达到一定水平等。

在大气科学里发展起来的可预报性理论，虽然并不是自觉的在辩证唯物主义世界观指导下完成，但它是完全符合辩证唯物论的^[2]。对于地震能否预报的问题，也应从辩证唯物论的角度进行分析，才能正确地确定地震预报探索的目标和思路。

3.3 发展方向

今后地震预报应坚持两条腿走路，即坚持经验性预报与物理（数值）预报长期并行，一面继续大力推进我国独具特色的地震预报模式，在现有水平下，尽最大可能服务于社会防震减灾，另一方面，则需在获得对地震孕育、发生及其相互作用机理一定认识的基础上，建立理论模型，通过数值模拟获得对地震活动机制的认识并外推预测未来地震形势。

首先，必须继续坚持已持续了几十年的现有地震预报探索模式，因为它是有效的，曾经取得过成功，挽救了千万人的生命。只要我们不断努力，也仍将还能取得新的、哪怕是很有限的成功。只要有一线成功的希望，我们就没有权利放弃努力。还因为近四十年积累的经验、获得的概念性认识，为开展理论研究提供了重要的基础和线索，地震孕育系统非常之复杂，不同于近代科学的一般数理学科，具有非线性和不可逆性，需要借助系统论方法进行资料的解释和外推。不仅是现在，即使在将来，经验及承载经验的预报人员都将发挥不可替代的重要作用。

与此同时，须尽早有计划地系统地开展物理（数值）预报探索。因为获得更多关于地

震孕育机理的认识,构建接近于真实的物理模型并重现地震的活动过程,能够对基于经验统计的预报技术和方法进行检验,使其更加完善和有效;能够提高对地震活动趋势的把握程度,使地震预测的稳定性有所提高,从而提高地震预测水平。

在未来,经验预报和物理预报应互相补充、互动共生,而不是过渡或替代。前者,

我们已有了丰富的积累,需要继续发展;后者,是我们要及时加强、迎头赶上。坚持继续推进经验预报,发展统计概率预测技术,同时努力探索物理预报,建立数值预报系统,中国的地震预报仍将继续保持世界领先水平。

(作者电子信箱,刘桂萍:mhs@seis.ac.cn)

参考文献

- [1] 李善邦著. 中国地震. 北京:地震出版社, 1981
- [2] 丑纪范编著. 大气科学中的非线性与复杂性. 北京:气象出版社, 2002
- [3] 谢维扬著. 至高的哲理. 北京:三联书店, 1997
- [4] 吴国盛著. 科学的历程. 北京:北京大学出版社, 2003
- [5] 吴淳著. 古代中国科学范型. 北京:中华书局, 2002
- [6] 向世陵主编. 写给大众的中国哲学. 北京:中国人民大学出版社, 2004
- [7] 郭培章主编. 中国城市可持续发展研究. 北京:经济科学出版社, 2004

A Few Consideration Points About the Earthquake Prediction of China

Liu Guiping

(The Monitoring and Prediction Department, CEA, Beijing 100036, China;

e-mail: mhs@seis.ac.cn)

Abstract The inevitability of earthquake prediction is pointed out and analysed by reviewing the process of its beginning, a few features of the earthquake prediction of China are probed, and the protracted nature and hardness, the direction of effort and the train of thought of development of earthquake prediction are discussed

Key words earthquake; prediction; consideration