

地震预测研究中引入 系统科学的几个问题的讨论

刘晓春

胡平

(国家地震局科技监测司)

(国家地震局地质研究所)

引言

摘要: 随着对复杂事物认识的不断深入,系统科学被引入地震科学研究中,本文着重讨论了混沌论、协同学、耗散结构理论和突变论等理论在研究地震问题中的相互关系,并从认识论的角度探讨了一些问题,以期有益于有关研究。

关键词: 地震预测新理论引进、思维、方法

不同学科的相互渗透和交流是推动科学研究不断深入发展的重要途径。近年来许多人在地震预测问题的研究中引入了系统科学的概念和原理,应用非线性动力学的理论和方法进行了一些探索性的工作,引起了越来越多的注意。这些专家从混沌理论、耗散结构理论和协同学以及突变论等不同的基本理论出发,对地震问题进行了探讨。许多人应用分形分维的方法对地震问题所涉及的一些复杂现象进行了有益的讨论。这些工作为地震科学研究开拓了新的思路和方法。在此我们不过多的涉及各学科领域的具体内容,而主要从认识论的角度讨论一些问题,以期引起大家的深入思考。

一、在地震预测研究中引入系统科学的背景

地震预报是人们从已观测到的物理现象,对未知的地震活动规律进行预测的认识活动。二十多年来我们已经积累总结了大量震例和这些地震孕育发展过程的各种观测资料。其中包括观测学的、地下水的、重磁电的、应力应变的以及地质学的等等。但我们还没有关于地震孕育发展过程的完善理论,即还没有能够说明全部经验事实的概念模型。

我们现在已经认识到地震孕育过程的基本特征是:整体性的、发展的、变异的、递阶秩序的、控制的以及复杂性的等等。这些特征的概念在经典物理学中是不涉及的,而系统科学和非线性动力学理论却正是研究这类问题的。

在经典物理学中没有诸如整体、生长、变异、秩序、控制、竞争等特征的概念，但在自然界中确实存在这些现象。尽管经典物理学在它本身和相关的领域取得了巨大的成就，但它并不是垄断性的认识途径。普通物理学原则上不能表述复杂事物^{〔1〕}。

在这里仅仅从认识论的角度比较一下经典物理学与系统科学二者之间的差异。

经典物理学认识方法的主要特征是分析，即把整体分解为部分，把复杂事物分解为简单要素加以精确的研究。这种认识方法无疑是非常重要的，但这种方法的应用取决于二个条件。第一：总体中各部分之间的相互作用可以隔离开分别考考，而并不影响其固有特性。第二：描述总体行为的方程和描述部分行为的方程具有相同形式，可以通过各部分过程的迭加起来取得总体过程。^{〔1〕}

系统科学方法论的主要特征是考虑整体性、多因素动态复杂系统的有效性、对非线性问题定量化研究等。它考虑问题的出发点是各部分之间存在强的相互作用，即非线性关系。

现在越来越多的人意识到地震过程是非线性的复杂过程。因此它更适合于用系统科学的方法论来认识和理解。

二、复杂性及一般的研究思路

经典物理学主要研究的是双变量问题、单向因果关系，或者是研究无组织的复杂事物。对后者的研究多用统计学方法而且源于热力学第二定理。但是我们现在面对的是有组织的复杂事物的问题，即多变量的相互作用的问题。

对于自然界的复杂现象从目前认识水平上可大致分为三类：一类是可以非线性微分方程描述系统的过程（一般来说都是不可积的），但由于对初始条件的敏感性，使得不确定性迅速增长可到使确定性预测完全不可能的程度，即通常所明的混沌现象^{〔2〕}。另一类是可以非线性微分方程组描述系统状态，但解的性质还不知道。还有一类是那些我们现在不能用数字表达的复杂事物。

我们之所以对系统科学感兴趣，其基本原因就在于希望它能为地震预报提供更全面的理论框架和比较完善的方法论基础。对于地震孕育、发生、发展这样一个复杂系统，其影响因素很多，难以用连续介质的模式精确描述，应该考虑用整体参数来描述系统演化规律，其中熵是最重要的参量之一。

熵从本质上说是对系统无序度的一种定量度量，熵的原理描述了系统的演化进程和方向，熵也是刻划开放系统与环境相互关系的基本参数。将熵的概念引入地震预报研究中，其潜在的科学价值可概括为以下三点：

1. 将多种前兆观测物理量统一映射为熵函数，在很大程度上避免了地震综合预报中不同物理量量纲的前兆异常相互比较的问题，并且可以给出定量化的判断。

2. 熵的概念是经典物理学、统计物理学、热力学、系统科学等不同学科的交汇和联系点，在此将这些不同学科的思想联系在一起。

3. 熵是描述系统演化的序参量，它可为系统的演化行为和终极目标提供一幅不同清晰程度的图象。熵具有深刻的物理含意，它的引入将增进人们对地震孕育发生物理过程的认识^{〔3〕}。

除了熵以外还有其他一些表述地震孕育系统特征的序参量，例如有序度、分维数等。从

根本上说这些序参量之间是一致的。分形分维是描述复杂现象的一种数学方法。它可以定量地表述没有特征长度而又具有自相似性的形状和现象。它的发展大大增强了人们对复杂事物研究的能力。将系统科学的基本理论应用于地震预报实践的核心问题之一就是需要提出孕震系统序参量与前兆观测物理量之间适当的转换表达式。

当前对地震孕育系统的研究有二个值得注意的方向。一方面是以混沌理论和宏观协同论为基本出发点，重点研究系统内部结构性的特征，即试图用状态变量和它们之间的相互依存关系描述系统的行为；另一方面是以耗散结构理论为出发点，通过系统与环境的相互作用描述系统行为。这二个方面所侧重研究的问题不尽相同，这是一种互相补充的关系。

三、系统科学与地震预报研究的关系

随着科学的发展，人类对自然现象的认识逐步深化，面对自然界中大量存在的许多有组织的复杂现象，经典物理学的认识和方法论已经显得束手无策，为探索地震现象的复杂性是否应该跳出确定性经典物理学的框框，寻找更合适的思想武器和锐利工具呢？

科学的进步永远是继承性的发展过程。在地震预报研究中引入系统科学的思路和方法，体现了地震预报事业的发展及对地震前兆现象认识的进一步深化。通过二十多年来地震预报的研究总结和积累经验，特别是近年来开展的地震预报攻关工作，我们已经在很大程度上体会到了地震过程的复杂性。这是人类对地震现象认识过程的一次飞跃。

系统科学主要是认识各种复杂现象的概念、原理和方法。非线性动力学可以研究系统的动力学特性，从而认识其复杂性。系统科学在地震预报实践中最有应用前景的研究领域之一就是综合预报。因为系统科学研究的对象是整个系统，而且特别强调整体性和综合性。在实际应用这些理论和方法时，还必然要结合各种具体观测数据的特点，开展大量的研究和实践，而这些工作必须建立在以往的研究成果和资料积累的基础上。随着研究工作的深入，会对基础资料以及分析处理方法提出越来越高的要求。

最后引用《地震监测与预报方法：综合预报分册》中的一段话作为本文的结束。“可以说，地震学者特别是预报人员对科学界重新掀起的关于‘确定论和随机论’的争论采取什么态度，这对综合预报的未来是至关重要的。随机性与确定性两者不应相互排斥，确定性寓于随机性之中。正确的方法论将指导我们在大量错综复杂的现象中找到可靠的地震前兆信息及有效的综合预报方法”。

参 考 文 献

- [1] 贝塔兰蒂，一般系统论，社会科学文献出版社，1988。
- [2] 苏珊等，分形与混沌在地球科学中的应用，学术期刊出版社，1989。
- [3] 朱传良，应用场的观点在近代大地定量论研究，地震研究，1989。
- [4] 尼科里斯、普利高津，探索复杂性，四川教育出版社，1986。

DISCUSSION OF SOME PROBLEMS ABOUT SYSTEMATIC SCIENCE IN THE STUDY OF EARTHQUAKE ANTICIPATION

Liu Xiaochun

(Department of Scientific and Technical Monitor, SSB)

Hu Ping

(Institute of Geology, SSB)

[Abstract] The systematic science has been drawn into the rescaches of seismology with the realizing of the complexity in depth. Here, it is discussed in particularly the relations of synergetics, dissipative structure theory, chaos and catastrophic theory in studying seismology. And some problems are probed from epistemology. Hoping it is valuable for the related study.

[Key words] Earthquake anticipation, Introduction of new theory, Train of thought, Method