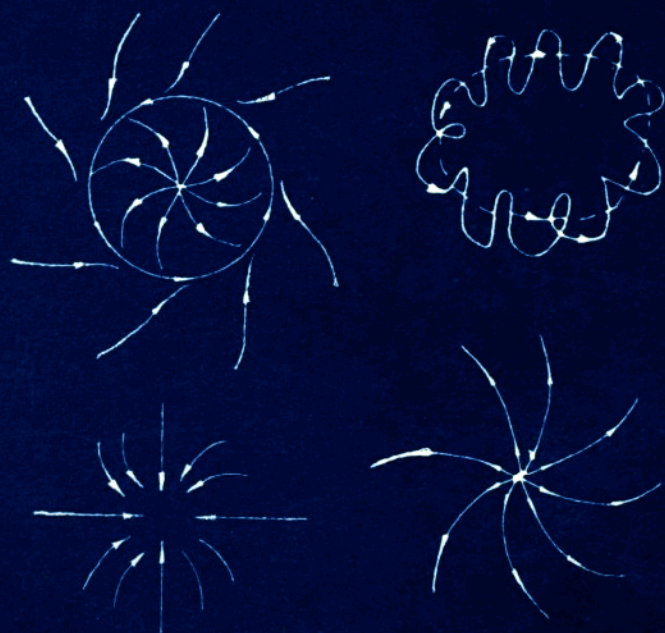


地震科学整体观研究

地震科学联合基金会 编



地震出版社



序

辩证唯物主义者认为：一切事物、过程乃至整个世界都是由无数相互联系、相互依赖、相互制约、相互作用的事物和过程所形成的统一整体。地球科学研究的结论完全符合这一观点。地球科学的整体观正是指地球的各个基本要素（如气圈、岩石圈、水圈等等）有机地组成了地球这个整体。地球整体的性质和功能并不等于其各个要素的性质和功能相加，恰恰是由于这些要素的相互联系、相互作用，特别是它们按着一定结构方式组合起来的，从而使地球具有新的性质和功能。这种整体观的原理正是科学系统论研究的最基本原理，它揭示了在任何系统对象中，整体并不等于它的各部分总和，即系统具有其组成要素在孤立状态下所不具备的新质，而新的质必然导致新的量出现，这种新质、新量则造就了系统的新功能。地球科学的近代研究结果，把过去是在不同科学学科领域中研究的复杂性客体方方面面进行了整体的、综合性描述，即地球的大科学研究。这种大科学的研究是以系统思维认识来研究地球自然现象的，它的显著特点是：

- 1、着重研究那些具有开放性、自组织性、复杂性和不确定性的对象。

- 2、其研究分析与综合的基本出发点是整体性、协调性，决不停留在个体认识水平上来分析事物的组成部分，而是着重揭示存在于一个系统内各组成部分的联系、关系、层次、结构等。

- 3、其所采用的研究方法具有突出的横向性、综合性、模型化、信息化。

正是在这种系统思维认识的基础上，当代地球科学的发展正处于日趋活跃的发展新阶段，突出之处在于近代高科技已深深地贯穿于地球科学的各个重要领域，特别是空间技术和大型数字电子计算机技术的成功应用，深刻地推动了地球科学各分支学科之间的相互渗透、相互交叉，并产生了一系列新的学科生长点，而地球科学在与生命科学、空间科学以及其它基础学科之间的广泛结合，使人们日愈认识到地球各组成部分之间存在着非常复杂的相互作用。有关岩石圈、大气圈、水圈、生物圈、冰雪圈之间相互作用的研究成果有力地揭示出地球各组成部分之间还存在着全球联系，于是把地球作为一个整体加以研究变得越来越引人注目。其结果必然导致地球科学研究突出的国际化：七十年代有国际地质对比计划，八十年代执行了国际岩石圈研究计划，九十年代正在进行国际减轻自然灾害计划（IDNDP），这些研究计划的鲜明特点是用系统科学观来研究地球的。在众多非常复杂的

地球活动图象研究中，人们注意到非简单的区域性规律，通过自动生成，则可以形成大区域结构，这就是当代物理学前沿性研究领域之一的非线性科学研究所要研究的一类课题。把这种表现为自相似性结构的现象，予以数学的抽象则是分维数的概念。近年来地球科学内正在活跃着的是把分维看做一种普遍的、反映本质的现象予以广泛探索。

对于正在地震预报问题上处于胶着状态的地震科学而言，非线性理论无疑像一阵春风吹来了地震科学整体观研究的新发展。地震作为地球运动的一种特殊自然现象，由于其巨大的灾害性而引起了人类的特殊关注，是当代地球科学家的研究的热点之一。本文集虽然是近四、五年以来地震科学基金会组织的一系列报告会精彩学术报告的选辑，但它们非常广泛地揭示了地震预测问题的复杂性、非线性现象，他们的许多研究结论，至今在引导其后很多同类研究上仍有着积极意义。这正是我们仍然把它们汇编出版的原因，同时也为了进一步推动地震科学整体观研究的发展。

吴宁远

1993年10月19日

编 者 的 话

本文集由国家地震局地震科学联合基金会支持召开的“地震科学整体观座谈讨论会”上的论文选编而成，以后又增补了 1991 年以来新的重要论文。本文集的内容及出版意义已分别在序及内容提要内作了介绍，不再赘述。

应当着重指出的是：如能把地震科学整体观贯穿于地震科学研究之中，当对地震预报研究的发展是一种促进。这种融汇于地球科学整体观的研究更为重要的是将在深层次上揭示地球的起源、组成、结构、运动和演化。由于编辑水平所限，在论文选取和审编过程中会有一些缺点和失当之处，尚希广大读者和研究此问题的学者批评指正。

陈章立同志审阅了大部分文稿，提出了重要选编意见，特此致谢。

本文集由吴宁远、李树菁两同志负责主编；刘小伟同志参加了部分审编工作；金恒启、张爱武同志分别作了大量的组织和文稿处理工作。

目 录

序

编者的话

试论地球系统和地震科学的整体观	马宗晋	高庆华(1)
地震前兆的降维判据	陈 颢	(8)
无量纲和相似	白以龙	(17)
分维与多分维	刘式达	(29)
不变量和地震科学整体观	王绳祖	(35)
模糊分维及其在地震研究中的初步应用	冯德益 林命周 刘喜兰 蒋 淳	(45)
蕴震系统自组织与前兆场整体演化	周硕愚	(54)
浑沌与地震预报	尹祥础	(60)
公里尺度地球物理实验及地震前兆的共性	郑治真	(69)
多种断裂系扩展过程的统一理论	张之立 王成宝 田 华	(73)
地震活动敏感点的机理与分形特征	姜秀娥 陈非比	(86)
从整体观出发研究周期性效应与地震预报	丁鉴海 黄雪香	(93)
地震与自然破裂的整体观	张少泉 郭建明	(98)
京津唐张地区活断层与地震震中平面分布分数维的初步探讨	马 瑾 雷兴林	(114)
从地球物理学的联合反演看地球科学整体观	晋光文 刘国栋	(120)
天地生人系统观与太极序列	徐道一	(122)
从地震熵变化特征探讨地震的自组织过程	王琳瑛 朱传镇 舒 曦	(126)
细胞自动机理论及其在地震孕育机理研究上的应用	郑 捷	(133)
强震发生前地震序列金字塔结构的变形和 1 / 3 律	秦保燕 白建华 李亚荣	(148)
从地震前兆观测资料中提取无量纲的探索	陈棋福	(157)
地震活动性的综合定量化与地震活动度	魏富胜	(165)
地震拉普拉斯分形	李后强	(171)
地震断裂系统的分数维及地震的平均重复间隔	张立人	(178)
分形理论在活动线性构造分析及地震活动性评价上的应用	孔繁臣	(185)
分数维理论在地震科学中的应用问题	彭成斌 陈 颢	(194)
征兆地质学与地震预报	徐好民	(202)
试论地震科学整体观的若干基本问题	李树芳	(207)

试论地球系统和地震科学的整体观

马宗晋 高庆华

(国家地震局地质研究所)

一、引言

本世纪初诞生的量子论和相对论，揭示了原子过程中的一种整体性的特点，把质量、能量、动量、电场和磁场都融合成一个可以理解的统一体，把惯性和引力统一起来，并指出下一个重要任务是建立“统一场论”。本世纪四十年代贝塔朗菲提出了一般系统论，他强调生物客体是一个有机的开放系统，主张从生物体和环境的相互作用中说明生命的本质。六十年代普里高津的耗散结构论（湛思华，沈小峰，1982）和七十年代哈肯的协同学（金性春，1984）把系统整体观推进到一个新领域，他们把生物学和物理学结合到一起，把必然性和偶然性、时间的可逆性和不可逆性、退化和进化、无序和有序统一起来。八十年代钱学森把现代科学技术九大部门三个层次的单一学科归纳在一起，提出了系统科学理论体系。

地质科学发展历史上，“原子论”和“整体观”的两种认识论和自然观，也是此起彼伏的对立发展。近代地质科学的初期显然是原子论占上风的，分门别类的研究方法，“探幽入微”的研究模式，反映了原子论的基本特点，至今一些学科仍保持与发扬这一特点，以高精度的高技术方法对现象进行更为精细的描述和理解，这是原子论的新阶段。地质科学运用整体观念研究地球的历史更为久远。如果说地球膨胀学说和地球收缩学说可以看作是地壳运动整体观的早期代表，那么，本世纪魏格纳的大陆漂移说和李四光的大陆车闸说等，则是力求从地球整体运动的观点去看待地壳运动和变化问题的现代地球整体观的先声。特别是李四光提出的构造体系（李四光，1962），把系统论的思想与方法和全面的整体观结合起来，推动了地球科学整体观的发展和飞跃。李四光的地质构造体系要比贝塔朗菲的生物系统早十多年，两者虽然分属地学与生物学，然而其哲学内涵是一致的。

二次世界大战以后，随着探测能力和技术的发展，人们的研究领域已从大陆到海洋，进而扩展到全球；从岩石圈表层引深到地幔，乃至地球整体。许多有远见的地质学家近来都不约而同地指出地球科学的发展趋势是向地球系统科学发展。1989年召开的第二十八届世界地质大会上一个总的动向就是地学的全球化。以研究地球变化为主要目标的“国际地圈—生物圈计划”等的制定，地球表层学、地质系统论和地球系统科学的提出，都是倡导把地球作为一个整体进行研究，同时表现出进一步把自然态科学推向天、地、生、人整体研究的强烈愿望与学科的使命感。

二、地球岩石圈构造场和运动场的统一性

五、六十年代，欧美国家以先进的科学技术方法，包括大量军改民的探测技术，取得了大量的全球性的实际资料和信息，有力地证明了岩石圈的存在及其以水平方向为主的运

动形态,从而兴起了板块学说⁵。它将板块与板块前缘的俯冲带、后缘的扩张带、侧缘转换断层看作一个整体,用板块的水平运动进行解释,并系统阐明板块边缘的地槽、褶皱、断裂、地层沉积、岩浆活动、地震的形成机制等,不论它们的形态,不论它们的运动方式,也不论它们的学科属性,而是用一个统一的运动过程加以概括。对这一范畴各种地质现象的认识显然是具有系统论的特色。我们相信,如果板块学说按着整体观的要求继续扩大它的视野和研究领域,一定会找到解决全球构造成因问题的道路。但令人遗憾的是,一方面是由于缺少进一步深入的资料;一方面习惯于单元论的认识方式,大地构造学研究的理论进程在从固定论向活动论迈出了一大步以后,相当一部分工作似乎又沿着传统大地构造学的方法,回到对构造单元的逐个“原子”进行描述的老路,尽管仔细研究每一个单元子系统也是非常必要的,但热衷于将板块越划越小,以致使推论其动力作用所勾划的对流系统紊乱、随意到令人难以相信的程度。对于更为深远的问题,没有进行深入研究,诸如全球板块的运动协调问题;主动型和被动型大陆边缘的起因问题;板块、板条、断块等大小岩石圈块体在几何学、运动学、动力学和球坐标系的统一关系问题;岩石圈块体稳定与非稳定性运动的动力机制问题;岩石圈、地幔、地核等分层非均一运动的耦合关系问题;地球整体的对称与反对称的对立统一问题;地球的行星性行为的检出与行星比较问题等等,这些理论性的思维尽管是部分地超前于资料的现实,但这确是地球整体观的理论体系所必须探索与追求的。

大量工作发现,全球板块构造的形象是相当有规律的。板块构造的奠基人海兹勒、拉皮向等已经注意到板块的旋转扩张现象(上田诚也,1973)。地球上绝大多数海岭、海沟、裂谷为近南北向,其次为近东西向;绝大多数转换断层为近东西向,其次为近南北向,再次是它们的过渡,这些全球级的几何特征,反映出与地球坐标系的直接联系,而板块的运动方向又接近一致,意味着地球自转运动和球体的整体变形存在某种关系。其实大陆漂移说的创始人魏格纳,在分析大陆漂移的动力来源时,已经注意到地球自转所产生的极移和潮汐力的作用。假如在大陆漂移说基础上发展起来的板块学说充分注意这一论点,在壳内对流与地球自转之间找到一个桥梁,这种结合可能对地球动力学的发展是一个重大的促进。

将区域构造与全球构造,全球构造与全球运动第一个有机地结合在一起的是我国卓越的科学家李四光。他在通过大量野外观测和实验工作之后认为,地壳上层构造形迹都不是孤立存在的,他将一场一定方式的地壳运动所产生的一切成生联系的构造形迹看作一个整体,称为构造体系(李四光,1962)。构造体系的提出,标志着在构造地质学和大地构造学领域中,从单纯的现象描述跨入用系统科学方法研究构造问题的新阶段。一个构造体系就是一幅应变图象,反映出了动力作用的方式和方向。它们尺度的大小,是受全球统一应力场及其不同级别和不同层次的半球级、区域级以及局地级地应力场所控制的,它们属于全球构造系统的不同层次和级别的子系统。

已经查明,世界上规模最大的构造体系有:纬向构造体系(反映经向水平力的作用);经向构造体系(反映纬向水平力的作用);巨型扭动构造体系(分别反映了南北向或东西向水平力的作用和由此引起的扭动)。

李四光认为纬向与经向水平力是地球自转不平衡所产生的惯性力和惯性离心力。如果我们把地槽、海岭、裂谷、海沟等巨型构造都看作巨型构造体系的构成部分,李四光的观

点无疑为岩石圈构造场与运动场的整体观打下了一个基础。

我们从现今全球构造出发(马宗晋等, 1988)曾把全球地震构造划分为三个主要的地震构造系统, 即: (1) 环太平洋地震构造系, 它以 180° 经线为对称轴, 以深俯冲带板块构造为特色, 伴随一系列沟、弧、盆、变质带、岩浆岩带、火山带、深源地震带、成矿带等深俯冲构造环境下的地象组合; (2) 大洋脊地震构造系, 以洋脊断裂系为构造特征, 它们的 $3/4$ 分布在南半球, 汇集于环南极洋脊, 并以 0° 经度线为对称轴, 以巨大的洋脊裂谷地貌带、稀疏的地震带、高热流带、熔岩流涌出带、变换的磁轴线带为其地象组合特征; (3) 大陆地震构造带, 主体展布在北半球大陆的北纬 $20^{\circ}-50^{\circ}$ 之间, 它以北大强烈的造山区为背景, 在正向(S-N、E-W)和斜向(NE、NW)的地壳活动构造线交织的网络带内, 分布着浅层地震。呈现着大陆内多种地球物理场和地球化学场动态异常带与岩石圈活动构造带相伴随的组合图象。

上述三个活动构造系作为全球现今活动构造总体的三个子系统, 概括了全球现今活动构造总体的绝大部分, 它们在全球坐标系的配置上, 反映了全球活动构造系统在几何学上和运动学上的非对称性(马宗晋等, 1986), 主要表现在纬向上南北半球的非对称或反对称; 0° 半球与 180° 半球的非对称或反对称。全球尺度构造系的非对称, 必然暗示着全球动力系统的非对称, 这把全球动力学的研究引向了更为复杂的境地, 但另一方面这也可能正是进一步揭示全球构造奥秘的新的契机。当我们研究每一构造系自身的变形特征时, 还发现了以经向轴为分割的西、东两侧的反对称现象, 它暗示了与地球转动有关的地幔物质呈东西向定向运动的全球意义。

前面所列举的事实无疑启示我们, 若对岩石圈构造场和运动场进行全球整体的系统解释, 只有依赖地球整体的几何学和运动学的基本特征。许多人怀疑地球自转动力的能量是否足以推动如此规模的变动, 我们认为, 地球的变动是在地球热力和重力场不均衡的巨大势能的作用下, 由地球转动的异向作用而表现出来的与球坐标系相关的几何特征和运动特征, 这一动力学的基本构想是否可能成立, 关键在于呈现在我们面前的事实。

三、地球水圈、气圈与岩石圈运动相关性

地球体系作为一个整体还包括水圈和气圈, 因此建立地球系统整体观, 还必须涉及对水圈、气圈物质运动的统一认识。

很早人们已经根据地层的沉积韵律可以推断海水的升降变化。如果这项工作只在局部地点进行, 看到的自然只是垂直运动, 但是当工作在广大地区开展并相互加以对比, 就会发现海水整体的水平运动。李四光及其追随者对我国显生宙海水进退规程进行了研究, 发现当地球自转速度加快时, 海水自北向南退却; 当地球自转速度变慢时, 海水自南向北侵入(孙殿卿等, 1982)。近年卫星测地工作开展以来, 大地水准面的变化与海面升降关系的研究, 已更接近海水进退、升降的真实背景。

在现代各大洋中存在许多环流。太平洋的水体, 从中美洲西缘开始大致沿赤道地带向西流动, 至西伊里安岛以东分为两支, 北支循大洋西部边缘向北流动, 至日本转向东流, 达加利福尼亚以西转向南流, 至中美洲构成一个椭圆形的环流; 南支循澳洲东岸南流, 至新西兰转向东流, 再平行南太平洋东部边缘北流, 也构成一个椭圆形的环流。类似的情况

也见于大西洋与印度洋,赤道以北大洋环流为顺时针向;赤道以南为反时针向,共同反映了赤道地带的海水自东向西流动,而且愈近赤道流速愈大;中纬度地带的海水自西向东流动;大陆边缘则作南北向流动。

大气环流的模式与洋流相当类似,在赤道至南北纬度 30° 之间和高纬度区是盛行东风带;在中纬度地带是盛行西风带。赤道两侧常出现巨大的旋卷气流形成台风,赤道南北的旋转方向恰好相反。与海气热运动巨大变异有关的海水剧增温(厄尔尼诺)现象,发生在太平洋赤道地带。已有资料说明它的发生可能与洋脊的非均匀变动引起的地下热流量的脉动有关,而脉动的韵律变化及赤道海水的流动速度又可能受地球自转速度变化的调制。

在地质历史时期气候带也曾发生过多次迁移,其迁移的方向与海水进退方向是一致的。

地球气圈、水圈与岩石圈运动方向惊人的相似,使我们不能不把它们作为一个整体对待。海洋学家与气候学家一致认为赤道南北环流的对称现象起因于地球自转产生的科氏力,这与我们在上一节根据岩石圈构造场、运动场建立起来的全球构造格架,及其动力学的基本构思以同源异象的统一认识,把地球的固、水、气三象统一起来(高庆华,1985),这是全球整体系统的一个质的扩展。

四、地球整体变动的韵律性

地球在其 46 亿年的演化历史中,地、水、气三象表现了一系列时间尺度的变动,不同学科采用多种术语加以描述,如周期、旋回、脉动、韵律、分期、分幕、分级等等,各有其内涵。从定性看,韵律含意最广,而且它既不受严格的周期和变动强度的规则所限制,也不忽视运动的反复和具有一定的动态节奏,它是一个半定性半定量,适应性最广的概念,也是一个介于确定性和非确定性之间的概念。据地质学固、液、气各分科关于韵律表现的认识,地球变动的韵律总的可划分为四个级别的韵律段,即长韵律段(十亿~千万年级, $10^9 \sim 7$)、中韵律段(千万~万年级, $10^7 \sim 4$)、短韵律段(万年~年级, $10^4 \sim 0$)和微韵律段(年、月、日, $10^0 \sim -3$ 级)(高庆华,1985,马宗晋等,1986)。

固体地球的韵律性主要表现在陆地的升降、造山运动、造谷(裂谷)运动、构造变动、岩浆活动、火山活动、地震活动、地热场的波动、地磁极的变动以及球体积的胀缩等等。这些表象之间,有的是同时异象的,有的是先后伴随的韵律相关。长韵律段可以大地构造的演化和分期为代表,还可以再分为构造宙(8 ± 2 亿年)、构造期(2 ± 0.5 亿年)和构造幕(几千万年)等三级。这个韵律级别的地球变动,直接表现为地球内部热场和重力场的协调平衡运动的韵律,被看成为地球构造变动的原因,但它们的韵律也很可能是受了银河效应(银河年周期、太阳系在银河旋臂结构中的位置与麦哲仑星云的相互作用)的影响或调制。中韵律段可以地文期的划分为代表,可再分为地文期(一至二千万年)、地文幕(几十万至几百万年)和地文阶(几万至一万年)。这一时间尺度的地球韵律很难从地球内部热场和重力场整体的自身韵律加以认识,相反受地球外部天文因子的米兰科维奇效应(地球轨道偏心率、黄赤交角、岁差)的影响可能很大。地史记录中这一时间尺度的冷暖、干湿的韵律表现十分明显就是一个旁证。短韵律段可以地震活动的韵律划分为代表,可再分地震世(几千至一千年)、地震期(几百至一百年)、地震幕(几十至十年)三级。

此韵律段可能受行星会聚、太阳活动、地球自转变速等因素的直接影响较大。这么短的韵律变化，很难想象是地球整体热状态和重力作用的结果。微韵律段以地球表面的潮汐分级为代表，可再分为年潮、月潮、日潮等，它们受日月引力和太阳辐射的周期性变化的作用是明显的，是已被证明了的。

地球水圈的韵律性主要表现在海水涨落、进退、水质及若干组分同位素值的增减，水成沉积的成分与量的波动等。地球大气圈的韵律性主要表现在大气湿度、温度、成分等在总的演化趋势之中的被动变化。水和大气韵律表现也可分为与固体地球相同的长、中、短、微的四个韵律段。地史期间大气湿度变化的周期谱，即可分出四组谱的峰值群，时间尺度相当于固体地球的四级韵律段。大气湿度的变化，即冷期与暖期或冷期与间冷期的划分，与海退期和海进期相当，冷期划分的时间韵律其时间尺度也与前述相当。大气和水的韵律性变动，虽然可能受固体地球韵律变动的影响，如火山活动，放气作用，地热溢出等等的影响，但更直接的则是受上述各种天文因素的调制作用。

把地球的地、水、气（即固、液、气）三象的运动表现，用韵律的同一性统一起来加以认识，这是地球整体系统观在时间域的集中表现。用同一韵律把不同的表象统一起来，这是同韵异相的分析方法，这是认识不同表象之间的联系在时间上的根据。这正是地球系统科学所立意的观点与方法。

地震预报在时间上的探求，一方面是利用地震活动历史自身所表现的大小韵律进行分期、分幕、分阶、分丛的群体的预测；另一方面则是根据地震前兆场的观测，不论它们是以什么观测手段所获取的信息，地震、地形变、地应力、地电、地热、地磁、地下水、动物、植物、天象等等，分析起来还是把它们归结为地震孕育过程的长期、中期、短期和临震的不同发展阶段，加以分析、论证，直到渐近于地震震中的临震预报，目前所采用的这种分析方法正是整体系统论的观点与方法。关于地震成因，前兆场的归一化等等理论性的分析，也是以变动的韵律或微动态的同一性为基础。

五、地球科学的理论系统

这是个很复杂的问题，看来在短期内很难取得大家满意的认识，这里仅就该系统的特征提出几点基本构思供讨论。

1、地球系统的结构

地球的整体结构包括空间与时间两大方面。

地球固、液、气、生四象各圈层的空间配置、几何上的相互关系和特征，包括它们在惯性坐标系内的对称关系等等，构成了地球历史的和现今的，相对稳定的构造系，这是我们考虑任何地球整体问题的一项客观基础或立体的协调条件。

地球 46 亿余年的演化历史，包括固、液、气、生四象分别的和整体的成生和演化史，却不仅仅是平稳的量变过程，都表现了长短短短的阶段性的，阶段之间表现了物质成份、结构形式以及运动强度与频度的明显变化。前已述及地球变动及层次的级别的韵律性，如果能够逐步辨明这一韵律系统，它就可以作为地球演化史的历史结构，这是我们考虑任何地球整体问题所必须考虑的另一个客观基础或历史的发展准则。

归纳起来可以构成地球系统的四维结构系。如果再考虑到地球由史至今，一直在转动

之中,而且转动速度和转动座标系与球结构系的几何关系还在不断的变化,所以我们不妨把它作为一项结构要素,而把地球整体的自然态定义为五维的结构系统。

2、单象系、多象系、因子系

以固体地球为研究对象的一系列固体地球科学,以海洋和大陆区水体为研究对象的海洋科学和陆地水科学,以大气为研究对象的一系列大气科学,以动植物和人为研究对象的生物学和生态学,各成单象的学科体系已有几百年的发展历史,建立了一系列经典的学科。这四个单象系的研究都沿着封闭式、半封闭式的发展趋向,现已全面展开了开放式研究。最明确的发展就是大气与海洋之间建立起来的海气循环,以它为研究对象展开了一系列交叉研究。再如固体地球的地热释放(包括火山喷发、海底岩浆涌出、大陆热能释放),放气作用(包括深层和浅层、放射性和非放射性元素)以及陆地水对浅表岩石的溶解等等,正在促使把固体地球的动态因素纳入海气双象系研究从而扩展为三象系研究。再如地震作为固体地球的一种剧变行为,经过对地震前后各种相伴现象的观测研究,已可以肯定地震的蕴育与发生确实受到了大气的影 响,反之,地震蕴育过程,直至地震发生,包括与之伴随的物理的和化学的多种成份的释放,也确实影响了低空和地区性的天气,甚至可能影响到高空电离层的扰动。海底地震可造成海啸等海水的运动与变化,海底地震、火山岩流热涌与海水急剧增温之间有联系,例如厄尔尼诺现象等,都涉及了固相与水的交叉研究。生物包括人类个体与群体的象之间,有史以来,一直是受固、液、气三象圈层构成的环境影响,反之,生物对环境的反馈作用,在地史学研究中确证存在一系列真实记录。特别是人类近代活动对大气、海洋以及陆地表层的污染与破坏、CO₂气的温室效应、臭氧层的被破坏、核冬天的潜在威胁、森林面积的锐减造成一系列自然生态环境的恶化等等,这是人类刚刚开始注意到的自我摧残,而在科学上,它正在推进着固、液、气、生(人)四象的整体研究的进程。

多象系的研究可以是象系之间整体的相互关系的研究,如固体地球动力学、海洋动力学和大气动力学之间质量、动量、动力的互馈与平衡,不妨把这类研究叫做多象系整体的综合研究。多象系的研究也可以是象系之间单一因子,或有限因子在象系之间穿插所构成的因子系统,如CO₂气,热能等因子在固、液、气、生(人)之间的增减循环的因子系统,不妨把这类研究叫做多象因子系的交叉研究。近年多象因子系的研究课题如雨后春笋,这恰恰是地球系统科学当前的行动特征。如果把上述单象系、多象系、因子系的研究统一在地球整体的五维空间中进行,那就构成了全面的地球整体观。不过必须特别强调补充说明的是,地球作为一个天体,它自身的行星性行为,以及它必然经受着种种天体环境的制约与影响,把地球系统作为一个开放系加以研究则是非常重要的,这就构成了近年多方称道的天、地、生、人的巨系统科学观。

参考文献

- 李四光,东亚一些典型构造形式及其对大陆运动问题的意义,[英]地质杂志,第66卷,1929。
李四光,地质力学概论,地质力学研究所,科学出版社,1962。
陈国达,中国大地构造的一些特点,国际交流地质学术论文集,地质出版社,1978。
马宗晋,陈强,全球地震构造系统与地球的非对称性,中国科学,第10期,1988。

马宗晋、张淑媛、傅征祥，地球变动的韵律性和反对称性，天文地质学进展，海洋出版社，1986。

金性春，板块构造学基础，上海科学技术出版社，1984。

张文佑，断块构造导论，石油工业出版社，1988。

孙殿卿、高庆华，地质力学与地壳运动，地质出版社，1982。

孙凯飞，系统整体性—现代科学的进代精神。光明日报，1987，3，2。

洪恩华、沈小峰，普里高津与耗散结构论，陕西科学技术出版社，1982。

H.哈肯，信息与自组织，四川教育出版社，1988。

上田诚也，新地球观，科学出版社，1973。

地震前兆的降维判据

陈 颢

(国家地震局)

地震预报和其他科学上的观测一样，都面临着许多困难。观测的问题在许多学科都会遇到。例如根据牛顿力学，由一组确定的初始值，我们可以观测某些天体的运行，预测日食和月食的发生等等。这是一种根据物理学规律的确定性预测。基于天体运行预测成功的鼓舞，不少人认为所有的预测从原理上都是可以作到确定性的，我们可以根据事物的过去和现在，预测其将来，只不过为了达到这个结果，需要足够的观测信息。

但是这种思路在地震预报方面正在受到挑战。目前预测地震的方法，是统计类比方法。观测并研究某一次地震之前出现的各种现象，认为它是地震的“前兆”。一旦观测到这些前兆现象时，我们就可以预测下一次地震即将发生。过去 20 年中，国内外的科学家为此投入了大量的人力与财力，积累了大量的资料、经验和教训，其中最主要的问题是：至今不仅没有任何一种“前兆”在所有的地震之前都被观测到，而且也没有任何一种“前兆”一旦出现之后，必然发生地震。大自然仿佛在嘲弄科学家们严肃认真的工作。究竟什么是地震的前兆？这是全世界科学家们共同探索的问题，在寻求前兆的科学问题上遇到不断的挫折和挑战，使得有些科学家对传统的科学思路进行了反思：是我们观测时间尚短，努力不够，没有找到这种理想的前兆呢？还是在科学思路，即方法论上存在着问题呢？即以上设想的这种前兆根本就是不存在的，或者说：地震的前兆是极为复杂的，而我们寻求的目标过于简单化了呢？

当一门科学面临着突破的前夕，它的特点几乎总是这样的：即利用原来科学的理论框架和观测方法来解释自然现象，发现的问题比解决的问题多。我们在地震预报方面正面临这种处境。

自然现象有简单和复杂的分别，而科学总是从研究简单现象开始。在研究简单现象方面取得的成就，不仅提高了人们对于科学女神的尊重，而且在解决简单问题时形成的方法论，成为人类的财富。但是另一方面，当科学发展进入研究复杂现象时，这些方法论是一种锐利工具还是一种思维约束？这是科学面临的尖锐而重大的问题。

本文的目的也在于探索地震前夕的复杂性。拟通过近年来发现的一些现象，着重说明其复杂性，把用简单方法研究这些复杂现象的矛盾揭示出来，讨论解决这些矛盾的方法和可能前景。希望为地震科学的研究带来更多的思考与讨论。

一、前兆现象的复杂性

现在举岩石破坏前兆观测的实验事实，来说明地震前兆现象复杂性的普遍特点。

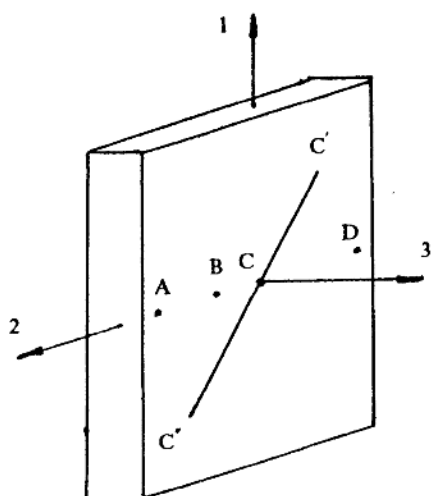


图 1a 用激光全息方法观测岩石变形时的离面位移。A、B、C、D 是岩样表面上的四个点，其对于最终断裂面 $C'C'$ 的位置如图所示

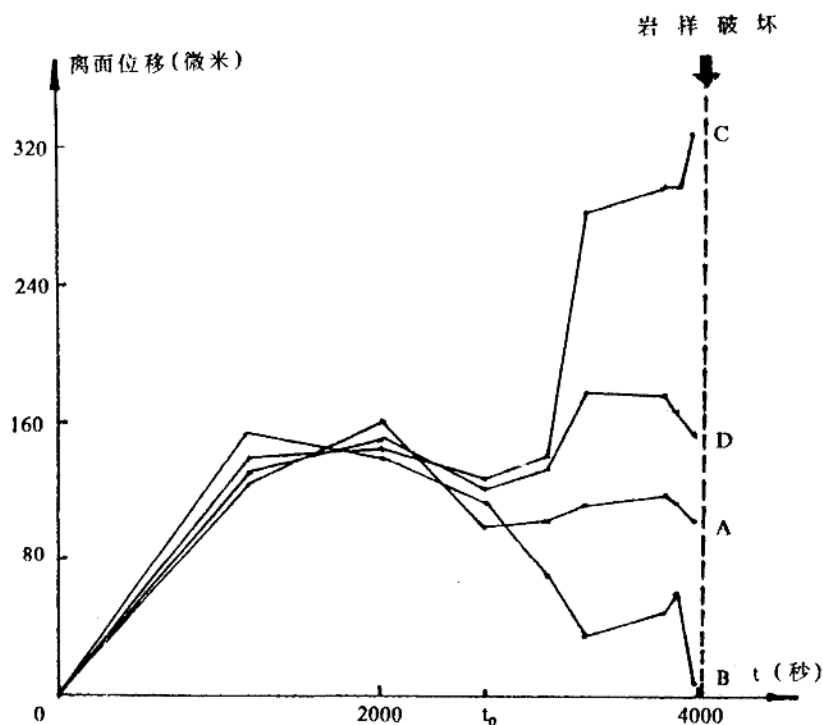


图 1b A、B、C、D 四点离面位移（相当于地面垂直变形随变形时间 t 的变化。注意临近破坏时，四点变形情况是极不相同的。四点变形差异的增加可能是破坏的前兆，而各点变形的具体变化难以作为普遍的前兆

在大理岩单轴压缩实验中，用激光全息方法测量岩样破坏过程整个表面的变形场，以寻求这块岩样破坏的前兆。为了叙述的方便，我们选择了岩样上四个点 A、B、C、和 D 的变形情况来加以分析（图 1），从 C 点的观测来看，岩石变形的早期，变形随应力的增加而缓慢增加，临近破坏之前变形急剧增加。因此，就 C 点而言，变形的急剧增加是破坏的前兆。但从 B 点的观测来看，变形的急剧减少却是破坏的前兆。C 点和 B 点的观测到的破坏前兆十分不同，充分说明了前兆空间分布的复杂性。那么，究竟什么是破坏的前兆呢？实验结果表明，要想找出破坏前各观测到的同样变化的前兆（各点都变形加速，或各点都下降）是不可能的。从图 1 可以看出，低应力阶段点（A、B、C 和 D）测得的变化是同步的，这反映了岩石内部的均匀变形，这种前兆变化的空间同步性可以认为是岩样破坏的长期前兆。但当临近破坏时，各点的变化出现了很大的差异：有的观测点变形加速；有的减速；有的甚至不变。我们很难说加速、减速和保持不变那一种现象是破坏的前兆，但可以说，这种变化空间差异性的加大是破坏的短期前兆。图 1 所示的现象虽然是由变形实验得到的，但其结果带来普遍性。早期研究岩石破坏前兆的实验工作实际上具有共同的假定，就是假定变形过程中所有时刻（直到破坏发生为止），岩石介质的物理性质是均匀分布的，因此所有的测量结果都是反映了某种物理性质的平均值。岩石性质在空间分布的不均匀细节则被忽略了，而这种细节往往包含了破坏前兆的宝贵信息。80 年代以来由于技术的发展，前兆研究方面的主要进展正是集中在对这种空间分布不均匀细节的研究上。不仅仅是对于图 1 所示的岩石变形，而且对于弹性波速度，岩石衰减等物理量的

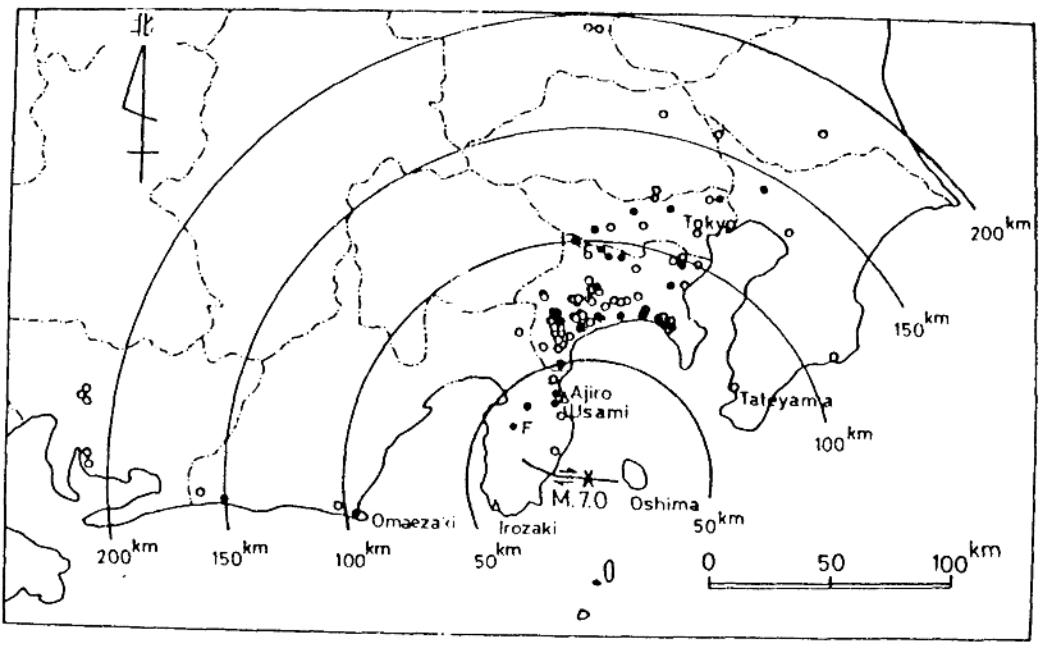


图 2a 1978 年 1 月 14 日，日本 Oshima 岛 7.0 级地震发生之前的地下水位变化测量水位的井孔平面分布图

所有的圆圈代表观测井孔，实心黑圈代表震前水位有异常变化的井孔，图中“X”处为震中，图中还给出了距震中 50、100、150、和 200km 的等距线

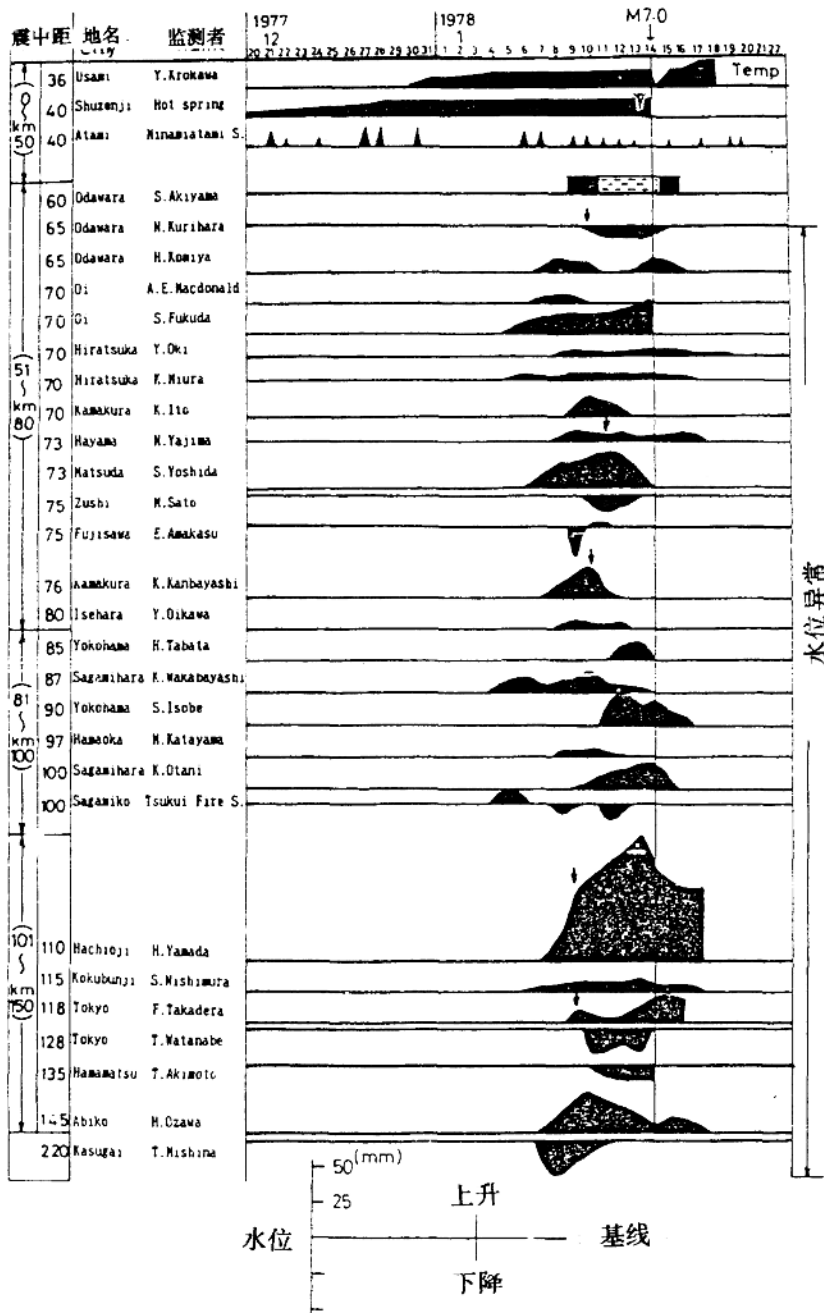


图 2b 日本 Oshima 7.0 级地震前各观测井孔观测到的水位异常分布图

其中黑影区代表水位与按以前变化趋势外推值的差异。箭头表示观测者向当局报告异常的时间。这张图给出了不同距离的观测井孔所观测的不同形态。请注意，临近地震时，井水水位有的上升，有的下降，呈现了一幅十分复杂的图案

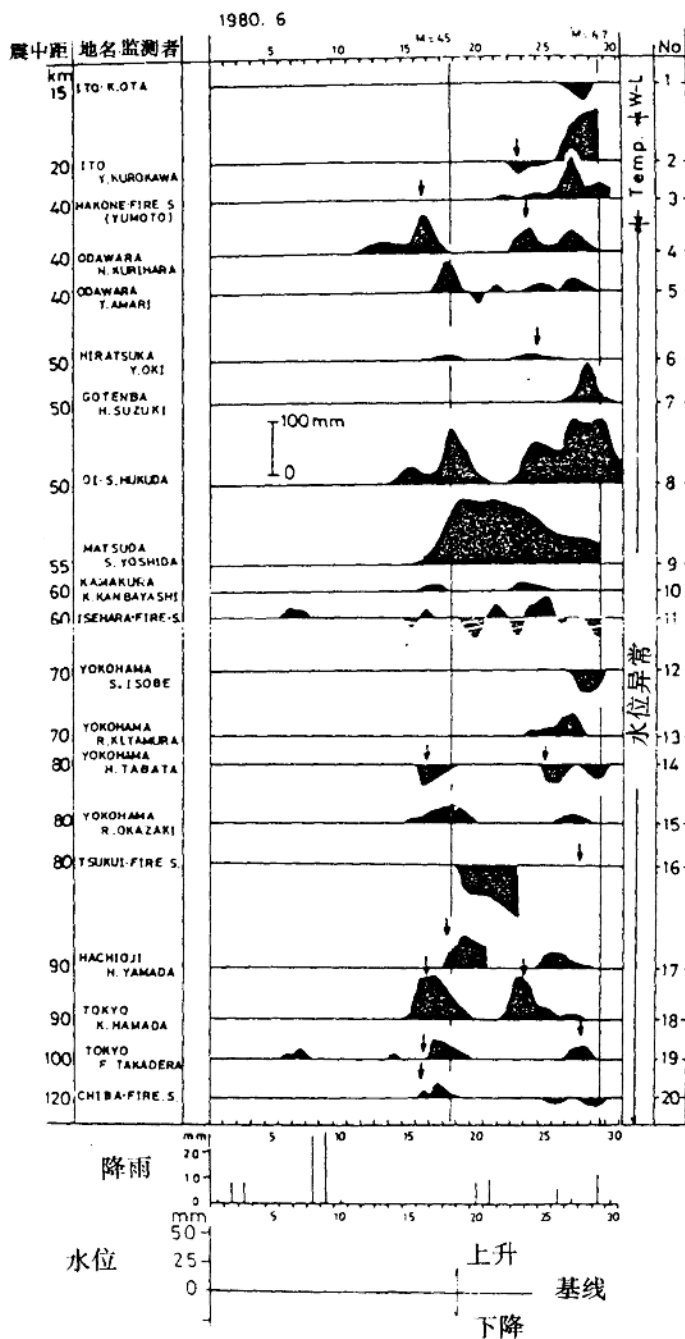


图3 1979年美国墨西哥边境帝王谷6.6级地震的形变前兆

a: 图中星号代表6.6级地震震中, 在震中北方有一组由三边测量组成的形变测量台网。b: 其中5个台站测得的面积应变 Δ 随时间的变化。图中虚线给出了地震发生的时间。由图可见, 地震前各台站记录到的形变异常很大, 有的膨胀, 有的收缩, 十分复杂