第一章　地球系统科学的发展和地球化学与预测地震的可行性

第一节　地球系统的整体观

一、系统科学与整体观的发展

许多有远见的科学家一致认为，系统科学的综合研究是当代自然科学发展的必然趋势，也是自然科学向更高层次成熟发展的标志（1986 年 11 月 12 日，光明日报）。系统整体性，反映了现代科学的时代精神。

康德（I. Kant）的《一般自然历史和天体理论》和拉普拉斯（Laplace）的《宇宙体系》为系统科学的发展奠定了基础。黑格尔第一个把整个自然的、历史的和精神的世界都看做是一个内在联系的、永恒运动的统一过程。马克思和恩格斯第一次对世界的种种联系作了唯物主义的系统整体论述，恩格斯提出了“总体系”的观点。

本世纪系统科学与整体观得到了进一步的发展。量子论的相对论的诞生，发现了原子过程的一种整体性特点。爱因斯坦（A. Einstein）指出：狭义相对论把质量和能量，动量和能量，电场和磁场“融合成一个可理解的统一体”。广义相对论把惯性和引力统一起来了。下一个重要任务是要建立“统一场论”，把四种力统一为一个系统整体（孙凯飞，系统整体性——现代科学的时代精神，光明日报，1987年 3月 2日）。

本世纪 40年代，美国学者贝塔朗菲（L. V. Bartlanff）提出一般系统论。贝塔朗菲于 1932 年和 1934 年接连发表《理论生物学》与《现代发展理论》，提出用数学模型来研究生物的方法和机体系统论概念，这是现代系统论的萌芽。他认为一切有机体都是一个系统，其各部分离开整体是不能存在的，他把“相互作用的诸要素的复合体”作为“系统”这一概念的定义。他认为一切生命现象本身都处于积极活动状态，任何活动的系统是与环境发生物质、能量交换的系统。并认为各种有机体按严格的等级结合在一起，一个生物系统可分若干层次。他所提出的系统观点、动态观点、等级观点，即是现代系统论的萌芽。他于 1937 年提出一般系统论的概念，1945年发表了“关于普通系统”一文，1954 年联合其他一些学者成立了“一般系统论学会”。他为发展系统论做出了巨大的努力。之后比利时物理学家提出“耗散结构”学说的系统理论，德国科学家提出了多维空间理论的“协同学系统理论”，前苏联科学家提出“参量型系统理论”。

系统的特点是强调事物的整体性、联系性、层次性和最优化。

整体性就是把研究对象作为整体对待，从整体与部分相互联系、相互结合、相互关系中揭示系统的特征和运动规律。

联系性就是把任何整体都看作是以诸要素为特定目的而组成的综合体。在这个综合体中各种事物都有内在联系，要求研究任何对象都必须从它的成分、结构、功能、相互联系方式、历史发展等方面进行综合的考虑。

需要全本请访问 www.ertongbook.com

层次性就是认为任何一个整体都可分为若干层次，每一个层次的事物都相互联系，自成系统，而又与另外的层次相互制约、互相影响着。

最优化就是根据需要和可能为系统定量地确定出最优目标，并运用最新技术手段和处理方法把整个系统逐阶分成不同等级和层次结构，在动态中协调整体与部分的关系；使部分的功能和目标服从系统总体的最佳目标，以达到整体最佳。

20 世纪中期以后，交叉科学兴起，控制论、信息论、系统论等横断科学蓬勃发展，系统科学又得以新的飞跃。特别是 60 年代普里高津耗散结构理论和 70 年代哈肯协同学的崛起，把系统科学又推向一个新的阶段。我国著名的科学家钱学森（1983）提出的系统科学理论体系，使现代科学系统整体思想更为完整。

地质科学中很早已孕育着系统观点的萌芽，如结晶系列、沉积系列、成矿系列等，其中特别应该提出的是李四光为此所做的贡献。李四光研究的领域十分广泛，除了构造地质、 [illegible] 的研究外，对中国地质、第四纪冰川等方面的研究均著称于世，有一些论文还广泛涉及到地球物理、地球化学、矿床地质、海洋、气候、天文和实验地质学。在他所研究的诸多领域中，重大的贡献之一是提出了构造体系。

构造体系概念的建立，在构造地质学领域中无疑是一场革命，它把对构造的研究从孤立的形象描述，追索到力学机制，然后从局部应力场与全球应力场的角度，找出了它们的内在联系。因此构造体系的观点实际上就是构造地质方面的系统论。

有关构造体系的涵义他在《地质力学概论》一书中写道：“……简单扼要的说，构造体系是许多不同形态、不同性质、不同等级和不同序次，但具有成生联系的各项结构要素所组成的构造带以及它们之间所夹的岩块或地块组合而成的总体。”由此可见，构造体系全面体现了系统论所概括的整体性、联系性、层次性和最优化等特点。

李四光的地球整体观的另一个侧面是地球各圈层的统一性问题，这在他最后的一本纲要性巨著《天文、地质、古生物资料摘要》（1972）中关于天、地、生、人的统一性表达得相当充分和透彻。

李四光在 20 年代初期已经对大陆漂移与海洋运动的关系进行了研究。他认为特别活动的海洋体对地球转速的变化最为敏感。——当地球转速增加，在造山运动到来之前海水从两极流向赤道，赤道地区发生海进；当地球转速变慢，海水由赤道流向两极，赤道地区发生海退。这种规律嗣后也为孙殿卿、高庆华、 J. D. 穆迪（J. D. Mood）等人的工作进一步证实。据研究，在我国地质历史上发生过多次大规模海水进退，其周期与地壳运动是一致的。

李四光在“地球表面形象变化之主因”一文中甚至还写到“还可以作另外一些有深远意义的理论推导，诸如在山脉的走向、气候旋回的时间分布、火山活动周期、生物圈运动与岩石圈运动的关系等”。根据孙殿卿（1982）、马宗晋（1986）、高庆华（1982）等人的研究证实，无论在空间运动方向上，还是在时间旋回上，大气的运动和变化及海水运动和地壳运动的步调是相当一致的。徐炳川（1983）研究了石炭纪古生物的迁移现象，发现生物群北迁和南移的步调与海水进退规律也是一致的。而且生物群的分区界限往往就是巨型构造带。

地球多圈层运动变化的相关性无疑反映了作用于各个圈层的动力系统的统一性。由此李四光晚期把他的视野再次扩展到宇宙，开始考虑结合天体运动与变化的规律研究地球及其各圈层的运动与变化问题。他在《天文、地质、古生物资料摘要》中清楚表述的思想是，越来越多的资料证明，天体运动和变化对地球整体的变化，地球自转速度的变化，地球各圈层物

质的运动和变化都有显著的影响。例如银河年的周期约为 280～300Ma，与大规模地壳运动时间间隔一致；地球上大规模的海侵往往出现于太阳远银心点，而大规模海则出现在近银心点；地球在靠近银心点时膨胀，自转速减小，在远银心点时缩小，自转速度增大；太阳活动 11 年、22 年、57 年、90 年等不同尺度的周期性变化，影响到地球整体的气候变化、海平面变化、地震构造活动；月球引潮力的变化可诱发地震等等。地球是天体大家族的一个成员，看来只有结合更高一个层次的天文系统进行研究才能真正了解地球系统的整体规律。从这个意义上看，地球系统只是宇宙系统的一个子系统。

二、地球系统与地壳运动的相关联系

地球系统是一个庞大的自组织体系，它由大气圈、水圈、生物圈、地壳、地幔和地核组成。每一个圈层又可分为若干层，每一层性质不同，且在不断运动中发生不同方式的变化。但是经过深入研究，地球各圈层的运动尽管有其特殊性，但在时间上、空间上、物质交换上又显示了相当密切的相关性及地壳运动的联系性。其中各种地质现象的相关联系主要表现在下列诸多方面。

（一）地壳运动与建造的关系

建造的研究曾是历史分析方法的基础，过去一百多年来围绕建造对岩石共生组合、沉积相等做了大量的工作。从运动的观点来看建造就是在地壳运动的推动下，物质迁移到适当的环境下形成的自然共生组合。

1. 地壳运动与沉积建造

沉积岩的形成主要取决于构造条件、海水进退堆积和物质来源。

构造是地壳运动的产物。构造条件不仅作为古地理条件控制了沉积岩的分布，海水的深浅和从海岸至深水的物理化学条件的变化，而且构造活动的程度和频度还控制了堆积的速度，沉积岩的厚度和结构。

对海水进退堆积的认识目前还不统一，然而推动海水进退的主要原因之一是地球自转不均衡导致的水平力。

沉积物质主要来源于与沉降带相辅而行的隆起带以及沿断裂分布的火山喷发物和生物遗体。不待而言，不仅前两者受构造控制，而且生物的分带也大体与构造带的走向平行。随着地球自转速度周期性的变化，隆起带的隆起剥蚀的程度、断裂活动的强度、气候的变迁和生物的盛衰，也常随之发生周期性的变化。这些变化与海水进退的变化相叠加，这乃是地层层次、程度、成分、有机物含量以及颜色出现韵律变化的主要原因。

2. 地壳运动与岩浆岩建造

岩浆活动是地壳运动的一个重要现象，激烈的地壳运动往往伴有大规模的岩浆侵入与喷发。已经发现的岩浆活动与构造相联系的重要事实有：

①岩浆岩的分布常受巨型构造带所控制，沿一定方向伸展；

②岩体的内部构造大多为区域构造所制约；

③岩浆体的分异作用在很大程度上也受区域构造的制约；

④许多地区的资料揭示，从巨型断裂向着倾斜的方向，或在褶皱地带从压力高向着压力低的方向，岩类有由基性到酸性的变化趋向，即远离构造带，岩浆岩中钾的含量和二氧化硅的含量有增高的趋势。

从以上事实说明，构造不仅作为一个空间条件控制着岩浆的分布，而且还在相当的程度

上制约着它的内部构造和岩相分异。

岩浆的活动时期与构造运动的时期相关，已为大家所公认。近年来还发现，由于地球自转速度时快时缓，从而使临界纬度（33°）两侧壳内物质的流动方向及挤压与引张的应力条件发生更替，也使其两侧岩浆活动的现象不一致。如震旦纪火山岩主要分布在秦岭以北，二叠纪玄武岩主要分布在秦岭以南。还发现随着地壳运动的发展，岩浆岩的活动顺序有一定的方向性。如从中国中部向着东南沿海和从祁连山向喜马拉雅山，岩浆岩的主要活动时期，有由老逐渐变新的趋势。这一现象是中国大陆的构造运动自北而南迁移溶化的特点相对应的。

3. 地壳运动与变质建造

变质建造也是一种改造，它对构造作用特点的反映相当显著。我国太古代以后的主要变质带有十余条，均具有明显的方向性——分别与纬向带、经向带、华夏系、青藏歹字型和一些山字型等大规模构造体系的挤压构造带相平行。带内的片理走向与区域构造的压性结构面走向大体一致。

已有不少资料说明，变质程度往往与构造带的强烈程度有关，一般在挤压构造带的核部变质最深，向两侧变质程度递减。

根据变质岩同位素年龄的研究，变质作用在地质历史中集中在几个时期，大都与构造运动周期一致。

综上所述，建造与改造是地壳运动统一体的两个方面，地壳可以说是在建造与改造的矛盾运动中发展的。只考虑建造不考虑改造是不对的；只研究改造、不研究建造也是片面的。只有全面研究才能正确揭示地壳运动的规律。

(二)地壳运动与地球化学

地球化学是研究原子与离子在地壳中运动的科学。原子与离子的运动与两个因素关系密切：一是本身的性质，主要是原子结构、原子半径、离子半径、离子极化、原子电负性、键性、晶格能和离子的能量系数等；二是外界条件，外因条件的改变，可以破坏元素的平衡状态，使原子和离子发生迁移，然后在新的外部条件下达到新的平衡。根据勒夏忒列定律，如果一个系统的平衡遭到外界应力的破坏，系统内部应发生反应，使平衡条件向抵消应力的方向移动。原子和离子的运动状态，从缓和到激烈，总是伴随着能量的吸收；相反，运动状态从激烈到缓和，总是伴随着能量的释放。所以在一般情况下最容易结晶的矿物，是产生最大热效应的化合物——首先结晶的是能量系统较大的元素。

地壳运动破坏了元素平衡状态，使元素沿着构造带发生迁移，并在构造带中活动程度与元素的结晶能力相适应的部位重新稳定下来。由于不同构造带或同一构造带不同部位的活动强度不同，致使在不同构造带和同一构造带的不同部位聚集了不同的元素，这是地球化学分带现象产生的一个重要原因。大量资料证明，地球化学带的走向经常与构造带平行，与构造距离不同的地球化学带所富集的元素不同，而且愈近者能量系数似愈增高；在构造交叉、分支等特殊部位，常有某一或某些元素特别聚集等等。很显然，地壳运动不仅作用于岩层使其发生形变，造成各种构造现象，而且也作用于元素的地球化学过程。因此，不去研究构造的规律性，很难阐明元素分布的规律；而不去研究地球化学问题，也很难弄清地块的形变与元素的迁移有什么内在联系，也不能正确阐明构造控矿的规律。

(三)地壳运动与海水进退

在地表各部分，古地理的演变与海水进退是补偿性的还是一致性的，是各地此起彼伏，

此进彼退，还是海水进退的步调大致同时，这是一个有争论的问题。李四光教授列举了大量的事实说明大陆海水的进和退是作大规模的水平运动的。需要指出，海水进退的规程与其它地质现象似乎保持着一定的联系。例如，在中国大陆有如下情况：

（1）海退之后，激烈的构造运动随之而来，地层发生强烈褶皱与断裂，并伴有火成岩活动

（2）激烈的构造运动之后出现海侵。

（3）海侵的方向大致自南向北；海退的方向大致自北而南。

（4）中国大陆海侵时，赤道部分为海退时期两极则发生海侵；当中国大陆海退时，赤道部分则发生海侵，极区海退。

（5）在海侵之前一般火成岩活动微弱，之后喷出岩增多；海退阶段则发生大规模侵入活动

（6）由海退转为海侵时，是地壳运动激烈阶段，一般是内生矿产形成的主要时期；由海进转为海退时，是地壳运动缓和阶段，常有沉积矿产形成。

（7）每一次海水进退都引起一次气候的变迁和生物的发展进化。

如何解释与海水进退有关的这一连串现象，只孤立地看待水圈的变化显然是不行的，必须对推动水圈的水平运动的力与推动岩石圈的水平运动的力统一考虑。看来因地球自转而产生的水平力的作用是不可忽视的因素。

当前，这一观点仍处于探索阶段，但已有地层古生物工作者开始探索这方面的工作。为此除从建造方面考虑地质时期海水进退的规律外，还有必要设立观测站，研究现今面升降、海水运动与现代地壳运动的关系，通过“将今论古”分析地质时期不同圈层运动关系。

（四）地壳运动与气候变迁

许多人认为沉积作用的旋回性必须用气候控制来解释。长期以来地球气候史，是以温暖时期与寒冷时期交替出现为基本特点的。在漫长的古气候变迁过程中，反复经过几次大冰期与大间冰期气候，每一个大的冰期或间冰期又包含若干气候冷暖变化的较小的和更小的周期。

对气候变迁的原因目前尚无统一的意见。气候长期的趋势性变化，地轴倾斜度的变化，太阳辐射能的变化以及地形、地貌、地物和大气成分的变化都是影响气候变迁的因素。在其变迁中，最显著的特点是具有频繁周期的反复变化，而且变化的步伐和周期常与构造运动及海水进退的规程相耦合，这是否是由于海水比陆地能聚集更大的热量以及由于地壳自转速度的变化，使海水从两极涌回赤道时，引起地球温度上升和海水从赤道流向两极时，吸收太阳热量减小温度下降以及海气系统的连续作用所导致的结果，是值得考虑的。

因此，考虑气候变迁的原因时决不能忽略地球自转的作用。关于地球气候具有大致 10 年变化周期的问题，大多数学者归因于太阳黑子的活动，太阳黑子的活动同时也影响到地球的自转速度。也就是说，即使地球的转速变化与气候的变迁不是直接因果关系，起码也具有密切的内在联系。所以古气候的研究也是地质力学的一个重要研究课题。李四光教授生前特别强调冰川研究工作，是有深远考虑的。

（五）地壳运动与生物演化

古生物与地壳运动有什么关系，乍听似乎提得有点冒昧，但经仔细推究就可发现，古生物的发展和分布都是与构造及地壳运动紧密相联系的。

需要全本请访问 www.ertongbook.com

在时间上，生物的分区经常以巨型构造带为边界，因为巨型构造带控制着海陆分布，影响着气候的分带，所以也就成为生物分区的界限。因此，研究生物的发展、迁移及生物群特征，划分生物区系，是划分地壳运动时期，推断古构造轮廓的一项重要依据，从我国晚古生代的生物分布来看，阴山与秦岭两个纬向带当时是天然的界限，也就是说它们在晚古生代已经存在。如果这一特征具有全球意义的话，则说明从晚古生代以来地球自转轴没有发生大的变化。在时间上，有资料显示海生动物的迁移与海水进退的规程是一致的。

（六）地球自转与地球物理场

经过长期争论，以水平运动为主的观点，现在已基本为大多数地质学家所接受。每一个构造体系都是一幅应变图像，已鉴别的大陆上各种巨型构造体系的排列和分布，都反映它们主要是由地球自转速度变化所产生的。

地球是一个庞大的热库，贮集了巨大的能量，值得注意的是，第一，大规模的热流方向基本上不是经向就是纬向；第二，地热异常有沿构造带分布的特点。因此，使我们不能不考虑，构造活动使动能转化为热能和构造带切穿沟通地下热库使热能沿构造带释放和流通的可能性。

由于地下热能的作用而引起的物质聚散、胀缩，显然也可以影响到地球自转惯量矩的变化，从而也影响到地球自转速度的变化。所以研究地球热状态、热平衡、热历史以及地球热场与构造应力场的关系，寻找地下热能源，是地质力学一项长期的任务。

地磁产生的原因尚不清楚。现在最流行的是自激发电机假说。按照磁流体力学规律，地核物质和原有弱磁场作用，引起一种自激发电机的效应，使原来的弱磁场加强起来，形成基本磁场。在地球转动时流体地核比固体地幔略有滞后，因此，产生磁场西移现象。最近有的假说认为，地核功能来源于地球的旋转。地球的旋转速度和地球的扁率有关，但地球扁率与地核扁率不同，在地核内部产生速度差，从而发生电磁流体力学的效应。当然这些假说还有待进一步研究。但现代磁极与地极接近，磁场倒转的周期与地壳运动的周期相合的事实，使我们在研究地磁的变化时，不能不考虑地球自转与地壳运动的因素。

局部磁场的变化，常常是构造的影响。运用古地磁方法研究地块或其中不同部分的运动方式和方向，也是地质力学工作的一部分。

大地电流是由变化磁场直接感应的。大陆电场一般为每平方公里 2 安培的数量级，两极更大，电位一般每公里几伏特，它在中纬度以南北向为主，在赤道以东西向为主，并有周期性的变化（如 11 年周期等）。

综上所述，地球的应力场、热场、磁场、电场与地球的自转都有着一定的关系。但对于这些物理场的特点、产生机制和相互转换的条件，尚不清楚，是地质力学今后应开展的一项工作。

（七）地球自转轴的变化

开始已经提出了地质力学对地壳运动问题的主要见解，但实际上关于地壳运动问题在地学界远没有取得统一的意见，即使地质力学工作者之间也并非没有分歧。因为这是地质力学基础理论中难度最大的问题，它涉及到各种地质现象规律性的认识，也牵涉到地球和天体运动的若干问题，近些年来所提出的一个重要问题是地轴的变化问题，这个问题直接影响到地质力学的地壳运动假说能否成立。认为地轴变动不大的观点是根据如下的现象：

1. 地壳运动的定时性和定向性

前面已经提到，地球的每一个圈层，如岩石圈、水圈、气圈的物质都在发生着运动，从而出现了构造运动、岩浆活动、成矿作用、海水进退、气候变化等现象。这些现象的变化，时强时弱，周而复始，循序递进。尽管每一个周期的时间并不是一个常数，但彼此的变化呼应默契，相互联系，而且每一次激烈变动时期至少从古生代以来皆显示与地球自转速度的变化相对应。

地壳运动所形成的现象中最显著的是构造形迹，巨形构造形迹的展布往往有一定的方向性，并与地球自转轴保持着一定的关系。其它如壳内物质的流动、海水进退、大气流等，其运动的方向性也似乎与地球自转轴有一定关系。

2　南半球大陆北移和北半球大陆南移现象

北半球大陆向南移动的现象可由下列事实证实：

①凡具有一定规模的山字型和弧型构造前弧大都向南凸出；

②走向东西的巨大褶皱轴面和冲断层大都向北倾斜，在剖面上组成多字型，反映地表对基底向南滑动；

③从西伯利亚开始，愈向南地槽系的发展时代有愈新的趋势；

④大陆的增长方向是自北而南的；

⑤火成岩活动的时代，总体而言是自北而南逐渐变新。

南半球大陆北移的现象魏格纳早曾提到，近年来板块工作者又从古地磁、古气候等方面提供了大量的证据。

南北半球大陆相抵出现了强烈的阿尔卑斯构造带。

3. 北半球对南半球的相对西移现象

许多现象说明北半球对南半球相对西移约 20km，主要事实是：

①青藏滇缅印尼歹字型（或似为 S 型）与北美歹字型向南延伸，尾部皆向东弯；

②大西洋中间海岭为之字型，地段比南段显著西移；

③大西洋海岭北段显著西移。

4. 大陆西移现象

大多数岛屿集中出现于各个大陆的东西，是早已被人们注意的现象。如果认为那些岛屿是由于大陆移动留下的碎块，则无疑意味着大陆西移。

在赤道两侧至南北中纬地区，大陆与洋底出现了许多条走向近南北的扩张带。

5. 地球南北偏心运动

Boden　1951 年曾指出，地心核有南北移动的可能性。根据斯特拉霍夫对沉积研究的资料，地球岩石圈中心基本上是逐步由南向北迁移的。从地质构造上看，在南极周围出现了一圈张裂带，这很可能与南半球大陆北移有关。

综上种种资料，初步认识到地球上所有一切地质现象和许多自然特征都是有联系的，由此初步勾画出了地球系统的轮廓。这个系统还要受到日、月及其它天体的影响，是宇宙巨系统的一个组成部分。

在此需要强调指出，地震是地壳运动的产物，上述各种地质现象与自然现象，既然都与地壳运动有关，因此从理论上讲，应与地球系统中各个构成部分的变化及各种相关地质现象及自然现象均应有或大或小，或直接或间接的联系。人们根据地震活动（即地壳运动）过程中地壳表层的形变、地质构造的变动、地球物理场的变化、地下水的变化和海平面的变化，

甚至生物的变化异常，已总结出了许多预测地震的方法，那么探索地壳运动的另一个重要组成部分的地球化学场的变化，也能在预测地震中发挥更大重要作用，这无疑是符合地球系统整体观的理论基础的。

第二节　地震活动及其与地球系统各种现象的相关性

众所周知，地震是发生在岩石圈的一种地质现象，大多是由地壳构造运动引起的，是现今地壳运动的直接结果，因此它与地球的整体运动及各个圈层的变化有着密切的联系。

一、地球运动与地震活动

李四光在本世纪 20 年代，曾提出了地球自转角速度变化所产生离心力是推动地壳运动之主因的论点。与此同时， E. Brown 提出地球自转速度的变化与地震的频度有关。 V. Meinesz（1947）通过全球切应力模型和自转变化的研究，认为地球自转变化可引起弹性应力的变向。M.C.Tobac（1958） 认为破坏性大震大都发生在 35°纬度带附近，从理论上证明这恰是地球自转变化引起的应力集中带。 D. Anderson（1974）指出，1835～1847 年，1896～1911 年、1933～1942 年地震活动高于一般水平，与地球自转速度异常慢及极移加快有关。

根据李启斌、安欧、李忠书、傅征祥、杜品仁、李愿军等人对地震的研究（傅征祥等，1986 杜品仁等， 1989）证实，地震活动与地球自转变化确有密切的关系（图 1－1）。

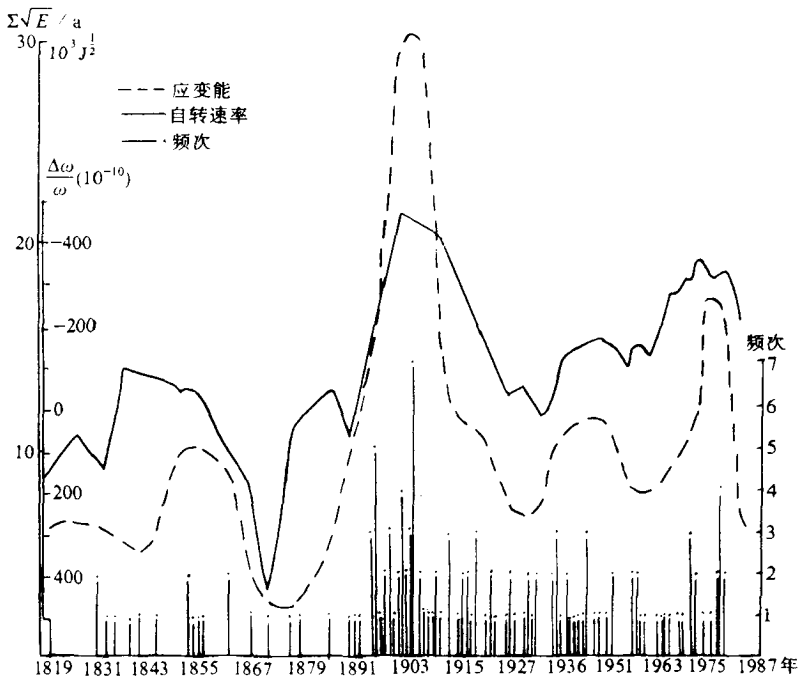


图 1－1　地球自转速率变化与全球 $M_L \geqslant 8$ 大震综合关系图

中国地震分布，除了在时间上与地球自转速度的变化有密切关系外，还有明显的区域性

与地带性。一般地球自转加速初期，主要是东西向和南北向地震带活动；加速两年以后和匀速期主要是北东及北西向地震带活动；减速初期，北半球主要是北北东和北西西向地震活动，减速两年以上，为北北东、北西西、北东、北西向地震带活动。

早在 50 年代，Sitowas 就指出，近 300 年来绝大多数毁灭性地震都发生在地球自转角速度变化时地壳最大切变带（ $\pm 35^{\circ}$ 纬度带）上，全球的地震主要集中在北半球，北半球地震主要集中在 $20^{\circ}\sim 50^{\circ}$N（图 1－2）。令人感兴趣的是，其位置大体相当副热带高压的边缘，而且副热带高压占据的位置是平均降水量最少的纬度（图 1－3），从纬度分布上也说明了少雨与地震的密切关系。

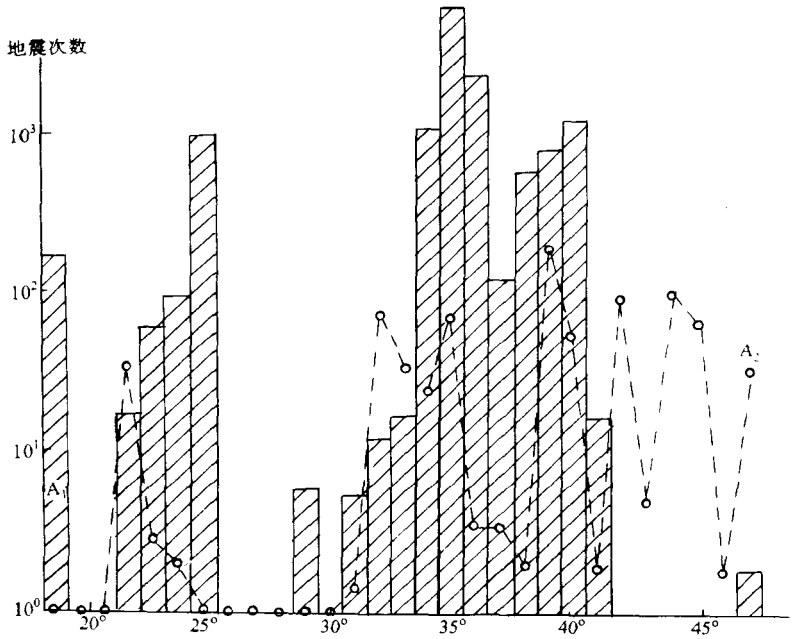


图 1－2　中国大陆东部强震（$M\geqslant 6.0$）活动水平（A_1）随纬度的变化（直方图）和西太平洋岛弧－海沟系统强震（$M\geqslant 7.5$）活动水平（A_2）随纬度的变化（点线图）

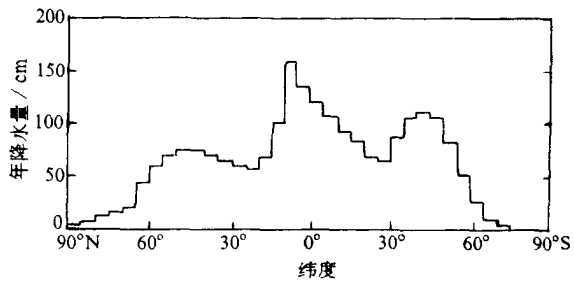


图 1－3　全球平均降水的纬度直方图
（据 Van Riper，1971 年资料修改）

据马宗晋的研究成果，大陆地震构造系可分成 4 个地震区，即中蒙地震区、伊阿巴地震区、东地中海地震区和北美地震区。上述地震区皆对应一个弧形构造带，每一个区都有一条经向中轴构造带，以此为界，西半区都是多震区，而且主要地震构造方向都是北西向的；东半区为少震区，地震构造方向都是北东向的。据研究中蒙地震区、北美地震区的西半部的地震多在地球加快年份发生。

本世纪以来中国的地震优势呈明显的象限分布，这显然与地球自转速度变化是有密切关系的。

二、地震活动与气象变化

根据对中国强震频次的研究，近 500 年来有两个地震活跃期：第一活跃期为 1480～1730 年，历时约 250 年；第二活跃期为 1880 年至现在，已经历了 110 年。值得注意的是，张先恭（1986）对我国近 500 年来降水规律的研究，发现有两个干旱期，一为 1475～1691 年；二为 1891 年至现在（图 1－4）。也就是说地震活动时期与干旱期大致相当。

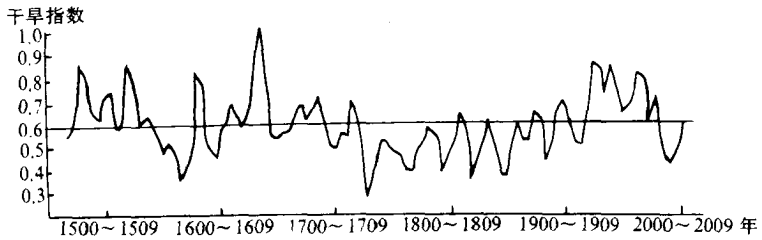


图 1－4　1470～1977年我国东部地区干旱指数 10 年滑动平均曲线

我国许多地震工作者曾详细研究了旱涝与地震的关系，发现我国大地震震中区在大地震前一二年往往是旱区，即所谓旱震规律（耿庆国，　1985）。根据我国气象台记录的降水量资料绘制的 1957～1971 年逐年的全国旱区图，发现面积达 432000km^2 的旱区一二年内可发生一次七级地震，面积大于 252000km^2 可发生 6 级地震，持续的时间越长，震级越大。　1966 年邢台地震、1969 年渤海地震、1970 年通海地震、1973 年炉霍地震前一年，周围地区皆发生大旱。也有一些地区，原曾大旱，但在地震前一二年发生洪涝，即旱一涝一震现象，如 1833 年嵩明 8 级地震、1668 年山东莒县 $8^1/_2$ 级地震，震前数年皆为旱区，尔后发生大水，接着发生地震。此外，还有涝一旱一震现象（郭增建等，　1989）。

地震活动与气温的变化关系十分密切，当气候由暖转冷或由冷转暖的时期，地震活动最频繁。我国近 500 年来地震活动时期与低温期相当。（图 1－5）也显示了华北东部地震发生在冷期。然而也有些地震，如 1679 年河北平谷 8 级地震、1937 年菏泽地震等，震前天气酷热，1966 年邢台地震震前 7 日内，平均气温由零下 13℃激增至零上 11℃。根据震区气象温压观测资料的分析，发现在震前常出现高温低压现象（兰州地震地质大队气象地震组，1976）中国科学院兰州高原大气研究所的工作发现，在较强地震前几个月到十几个月，在未来地震区常出现一高温中心，周围为一低温圈，其梯度与未来震级有关。

气象变化实际上是地球大气环流运动与变化引起的；大气环流的变化则与地球的运动及太阳活动有着密切的关系。可见气象与地震都受控于地球的运动与天体的影响，并且两者之

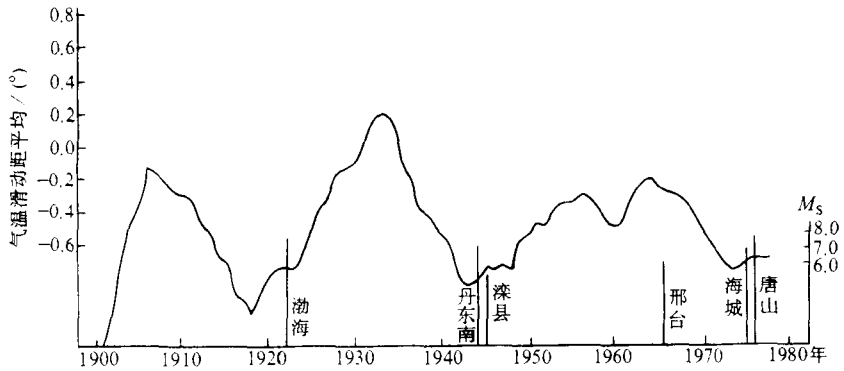


图 1－5　北京冬季 1 月份温度滑动平均变化与我国华北东部地震活动比较图
（据梅世蓉，略有改动）

间也具有直接的影响。

据叶笃正等人的研究，大气角动量月际变化显著的时期是 3～4 月份与 8～9 月份，这是大气环流显著变化的过渡时期，也是一年中地震最活动的时期。通过摩擦应力而引起的大气和地球之间角动量交换，在 6～8 月份是大气通过应力供给地球角动量，其余月份是地球供给大气角动量。6～8 月是西风环流最强时期，也是地球自转速度变快和地震频度较高的时期（图 1－6、图 1－7）。大气角动量易通过山脉输送给地球，故北纬 30°～40°变化最大，这可能是此带地震最活动的原因之一。

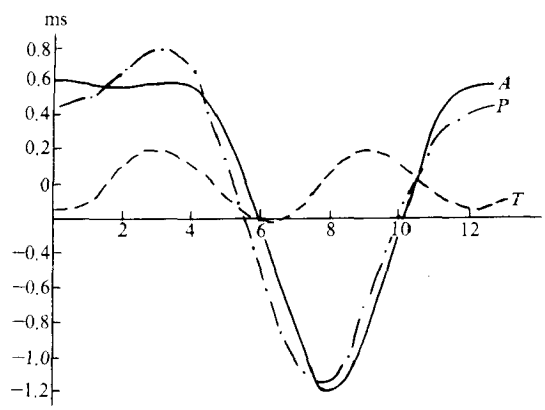


图 1－6　大气角动量（A）和固体潮汐（T）对地球自转速度（P）变化的影响
（据叶笃正）

震前由于地应力的作用，可使某些气体从地下溢出，并可能使气温发生变化，因此常出现局部气温偏高、大气浑浊、地光、臭气等现象。这些已成为预测地震的重要信息。

需要全本请访问 www.ertongbook.com

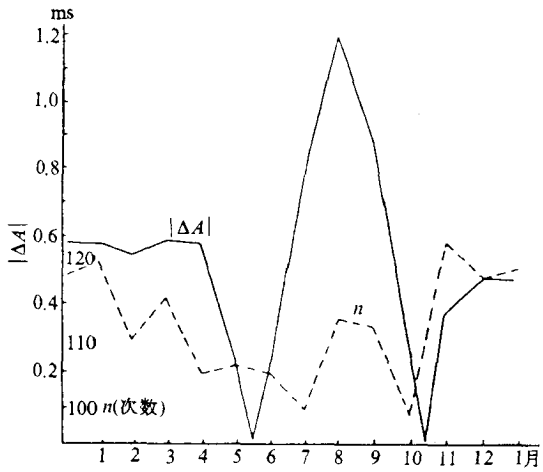


图 1－7　全球大气角动量月际变化和全球地震活动次数（$M_S \geqslant 7$）关系

（据叶笃正）

ΔA |为全球大气角动量月变化绝对值；n 为全球大于 7级地震月频数

三、地震活动与海温及海平面变化

海洋总质量是大气的 280 倍，热容量是大气的 1200倍，如将 100m 深的海水温度升降 0.1℃，则释放或吸收的热量可使空气温度变化 6℃，因此海温的变化常与气温及地震显示有一定的联系。据海洋局的研究，我国海冰最严重的是 1957 年、1969 年、1977 年，显然都处于地震活动期。

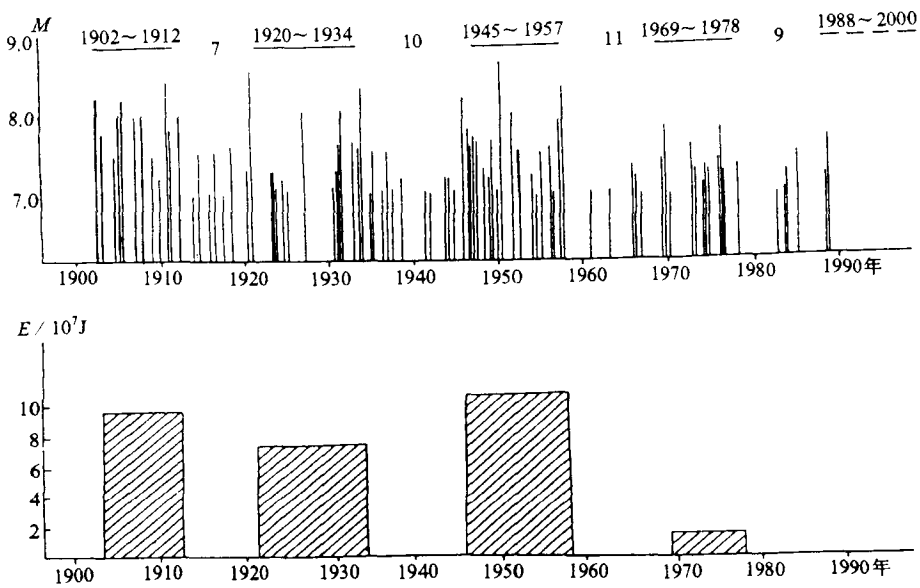


图 1－8　中国大陆及邻近区浅源大震 $M-t$ 和 $E-t$ 图

海平面的变化不仅是地球表面温度变化的反映，也是地壳运动的结果，因此与地震关系

更为密切　日本的地震工作者，早已注意到震前或震后海平面的异常涨落。进一步研究发现，海平面的变化并不仅仅是由于地震的震动而引起的突然性异常变化，而且与地震的活动周期似有着同步性的变化。图 1－8 为中国及邻近地区浅源大震的时序图，显示 1902～1912 年、1920～1934 年、1945～1957 年、1969～1978 年、1988～2000 年的地震活跃幕，恰巧是低海面时期（图 1－9）。

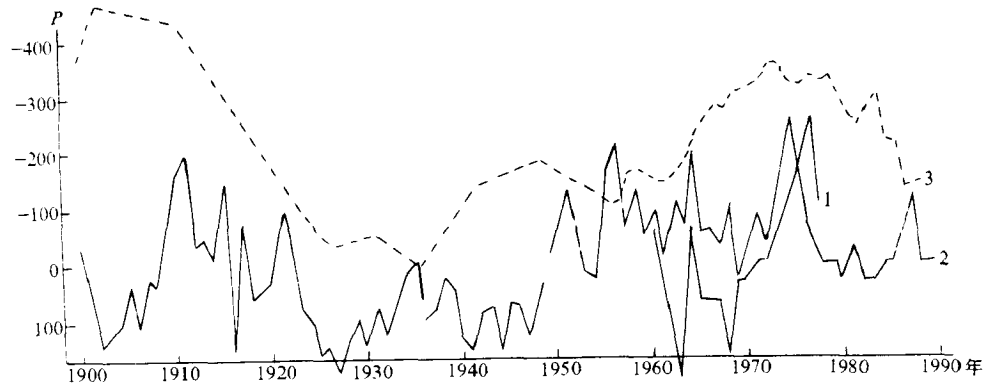


图 1－9　地球自转速度变化与海平面变化曲线图
（据于道永等）
1. 悉尼海平面变化曲线；　2. 秦皇岛海平面变化曲线；3. 地球自转速度变化曲线

四、地震与洪水

图 1－10 为山东黄河决口次数与华北强震频次对比图，黄河决口次数最多的 16～17 世纪以及 10～11 世纪和 14～15 世纪，都是地震强烈活动的时期。

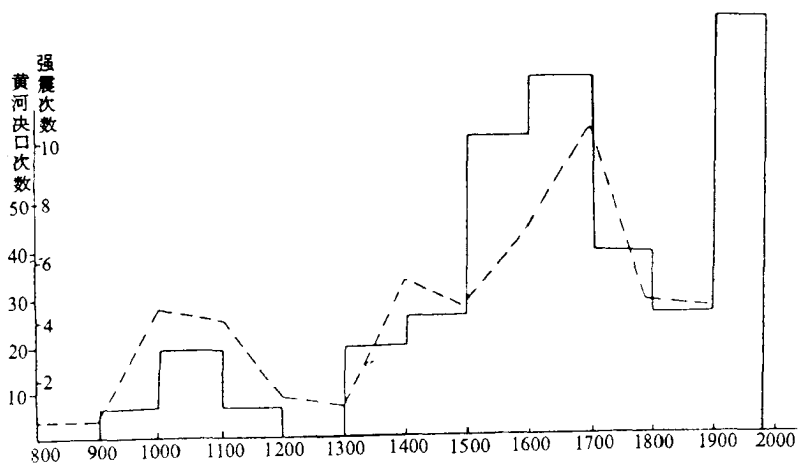


图 1－10　黄河决口次数（虚线）与华北强震频次（实线）对比图

五、地震与生物异常

生物异常是重要的地震前兆，这已为大家所熟知。进一步工作发现，生物的变异周期与

地震的活动周期似也存在一定的关系。如建国以来，我国严重的农作物生物灾害发生于1950～1956年、1958～1964年、1970～1977年、1985～现在。与1945～1957年、1969～1978年、1988～2000年的地震活跃幕比较，除多一个1958～1964年的生物灾害期外，其余基本对应。在农作物生物灾害发生期末，如1957年、1965年、1977～1979年，为森林松毛虫严重发生期。或者也可以说，地震活跃幕的结束时期，松毛虫灾害最严重。

第三节　地应力场与地震前兆及地球化学场的关系

一、地震前兆基本特征

地震前兆是预测地震的重要依据。它实际上是伴随地震活动所出现的天象、 地象、生物象等方面的异常。

地震的前兆现象具有多样性，在测震学、地球物理、地壳形变、地球化学、 地下水动态乃至生物、气象等方面都有前兆显示。特别对于大地震，其前兆现象尤为丰富。

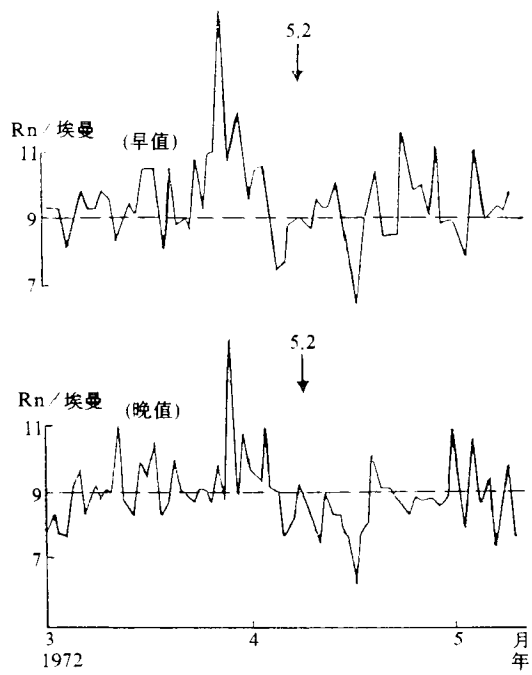


图1－11　九龙5.2级地震前姑咱台水氡日均值变化曲线
（据四川地震区）

地震前兆具有在时间分布上的持续性。一般7级以上大震前兆持续时间在几个月至十几年不等；对于5～6级中强地震，持续时间在几十天到几个月。还有一类异常是在地震发生前短时间内（几小时一几十天）出现的间断性、突发性的前兆异常。

地震前兆的时间进程有突出的阶段性特征。 7级以上大震的前兆表现大致分为四个阶

段：长期（几年—十几年），主要表现为地震活动性、波速比及大面积形变测量方面出现的异常；中期（1—几年），主要表现为定点形变测量、水化学、地下水、重、磁、电、应力等方面出现的趋势性异常变化；短期（几个月），主要是一些趋势性异常的转折变化和前兆异常数量的增加；临震（数天），主要是前震活动及多种突发性异常的显示。

根据对大量实际观测资料分析，地震前兆现象具有两个显著的特点：

（1）在蕴震过程中，有一定的变化规律。

以水氡变化为例，图 1－11～图 1－14 分别为 1972 年九龙 5.2 级地震、1972 年康定 5.8 级震群、1978 年唐山地震、1979 年玉树 6.4 级地震水氡均值变化曲线，可以看出，地区、时间、震级、水氡均值变化曲线的形态都基本一致，即震前出现高值，然后下降，突跳，发生地震。

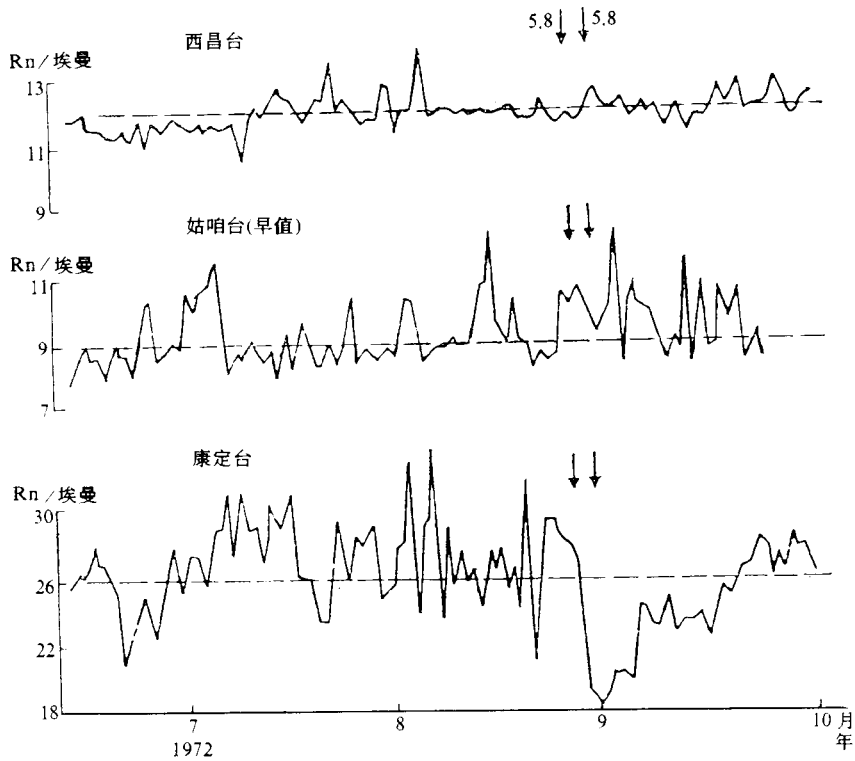


图 1－12　康定 5.8 级震群前水氡日均值变化曲线
（据四川地震区）

（2）各种地震前兆进程的综合简化模型具有相关的形态。

一般在地震前都逐渐累进，或出现高值或出现低值，然后快速向相反方向变化——下降或上升，接着发生地震（如图 1－15）。

二、地应力场与地震前兆的关系（图 1－16）

我国大多数地震属于构造地震，这些地震的发生和时空规律无疑都受地球构造场及地应力场的控制。尽管我国大地构造学说颇多，对地震的时空分布规律认识也不尽一致，但认为

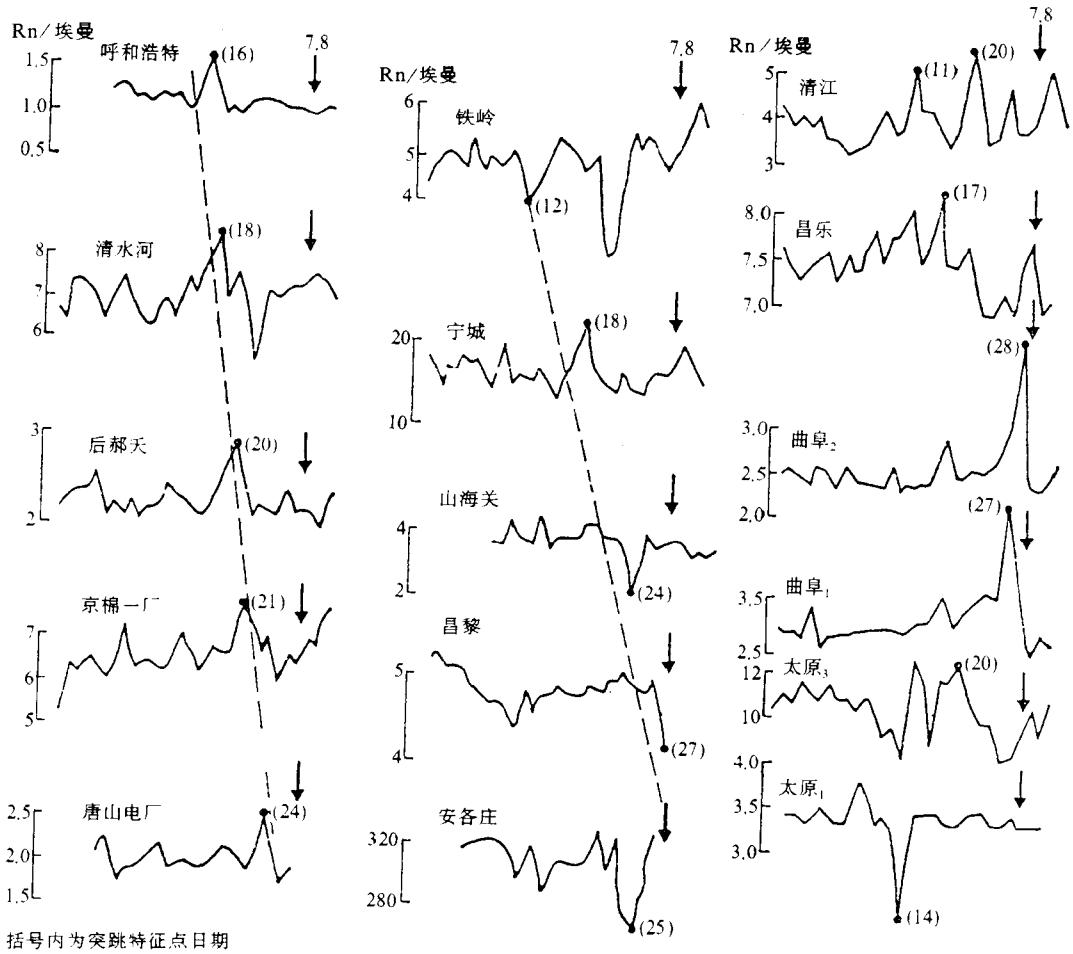


图 1－13　1978 年唐山 7.8 级地震
（据国家地震局预报中心）

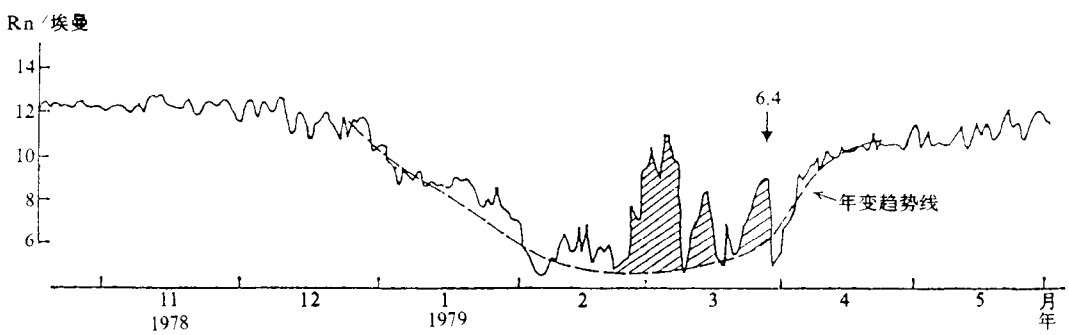


图 1－14　1979 年 3 月 29 日青海玉树 6.4 级地震甘孜台水氡日均值曲线
（Δ＝300km）（据四川省地震局）

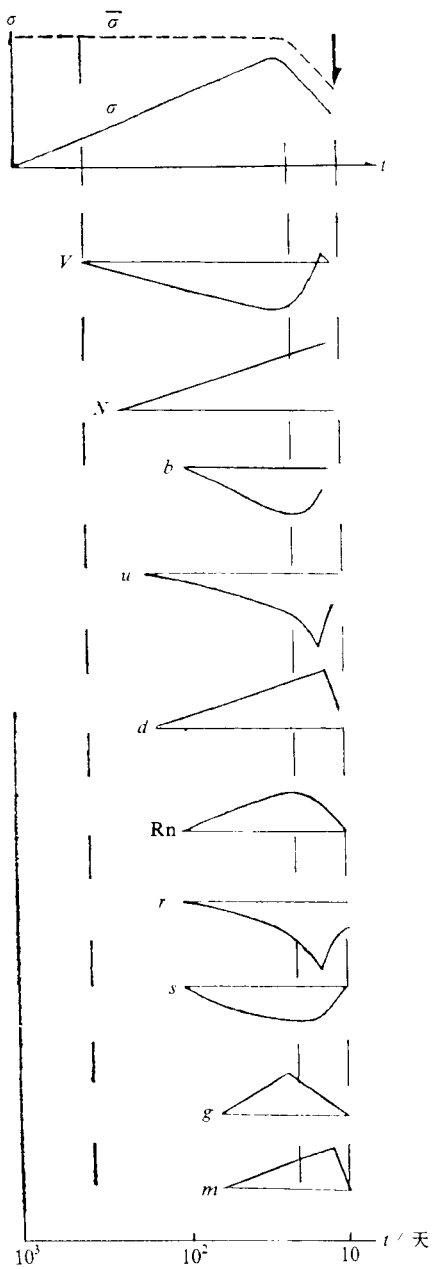


图 1－15　地震前兆进程的综合简化模型
（据国家地震局预报中心）

σ. 构造应力；V. 波速比；N. 地震频度　$b-b$ 值；
d. 地形变；　. 地下水位；Rn. 水氡；r　电阻率；
. 地应力；g. 重力；m. 地磁

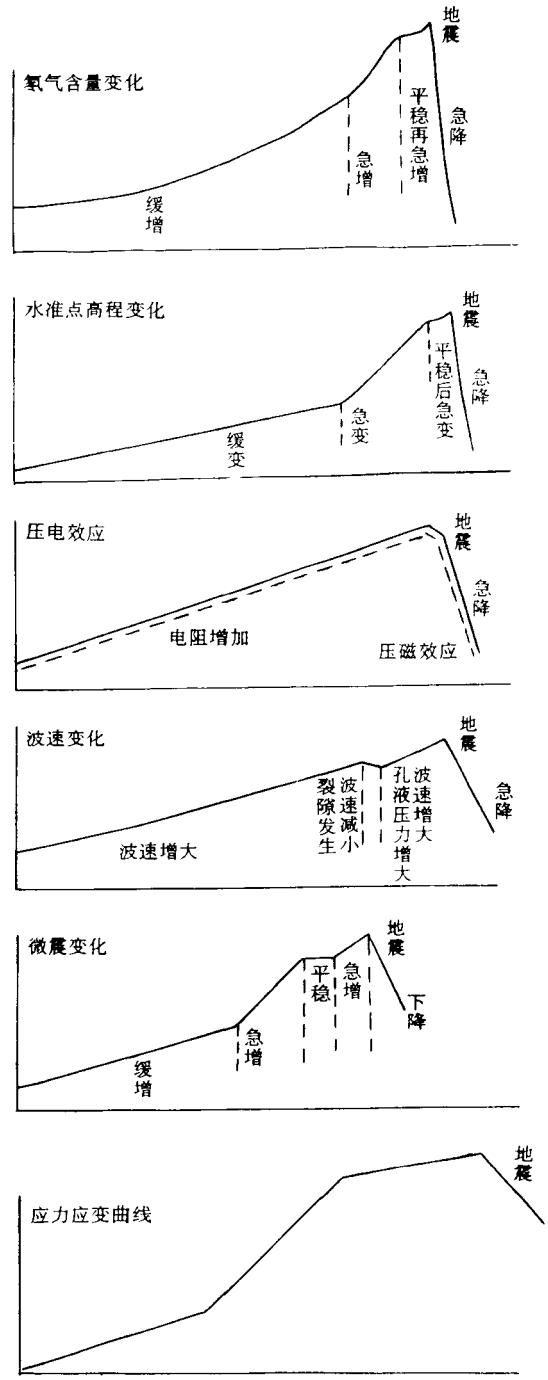


图 1－16　地震前兆变化之相互关系理想化示意图

需要全本请访问 www.ertongbook.com