

地球化学异常

——地震预测整体观的探索

高文学 蒋凤亮 高庆华 张业成 朱克文 著



地震出版社

地球化学异常

——地震预测整体观的探索

高文学 蒋凤亮 朱克文 著
高庆华 张业成

地震出版社

2000

图书在版编目(CIP)数据

地球化学异常：地震预测整体观的探索 / 高文学等编
著. —北京：地震出版社，2000.7
ISBN 7-5028-1773-5

I. 地... II. 高... III. 地球化学异常 IV. P632

中国版本图书馆CIP数据核字(2000)第35777号

地球化学异常

——地震预测整体观的探索

高文学 蒋凤亮 朱克文 著
高庆华 张业成

责任编辑：宋炳忠

责任校对：王花芝

*

地震出版社 出版发行

北京民族学院南路9号

北京地大彩印厂印刷

全国各地新华书店经售

*

787×1092 1/16 16.5印张 423千字

2000年7月第一版 2000年7月第一次印刷

印数 001—500

ISBN 7-5028-1773-5 / P·1050

(2304) 定价：30.00元

前 言

地震是造成死亡人数最多，对社会经济破坏最强烈的自然灾害。长期以来，人类寻求各种途径减轻地震灾害，其中最有效的措施之一是进行准确的地震预报。但是时至今日，地震预报仍是尚未突破的科学难题。为此，除需要对原有的预报方法和手段深化提高外，更需要开辟思路，从更广泛的角度探索新的途径。地震是一种地质现象，因此，地震预报需要在地球科学理论的指导下开拓前进。

随着地球科学研究的进展，地球系统科学的整体观逐渐被人们接受。这种学说的要点是认为地球是一个开放的自组织系统，组成地球的各个圈层（如岩石圈、水圈、气圈和生物圈）既各有其特殊的物质和运动状态，又相互影响，不断进行物质和能量的交换。地球系统任何一个部分的任何现象的形成和发展都不是孤立的，而是受地球系统及其各个相关部分综合影响的。因此，对包括地震在内的地球各种自然现象的认识已逐步进入相互交叉和综合、系统的研究阶段。

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40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。60年代普里高津的耗散结构论和70年代哈肯的协同学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。80年代钱学森把现代科学技术九大部分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。

在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，也是此起彼伏对立发展的。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阀说等，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，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，随着探测能力和信息科学的发展，人们的研究领域已从大陆到海洋，进而扩展到全球；从岩石圈表层深入到地幔，乃至整个地球。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以及近年数字化地球计划的提出，都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。

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新阶段，突出之处除了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外，而且在地球科学与生命科学、空间科学以及其它基础学科之间的广泛结合方面，使人们日益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、水圈、大气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。

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热点之一，地震科学整体观的研究也取得了较大的进展。

地震科学，特别是其中的地震前兆理论和地震预报最先感到科学整体观思维和方法的需要。地震前兆八大手段涉及整个天地生多门学科，如天文学，地质学中构造地质学、地貌学、水文地质学和水化学、地球动力学，地球物理学中的地磁学、地电学、重力学、地热学，固体力学中的断裂力学、气候学，海洋学，生物物理学等。地震预报几乎涉及所有的新方法、新思路，诸如系统科学的信息论、协同论、突变论、耗散论、混沌论、分维分形论、计算机仿真学、人工智能等。这些方面的成果在地震预报上的运用，均需用地震科学的整体观加以综合。

地震科学整体观可以看成是广义的、定性的系统观。地震科学整体观是近年来在地震科学，特别是在研究地震预报和前兆理论方面出现的新思路、新方法以及一些新的成果的基础上产生的。在地震科学文献方面近年来常可见到“整体观”、“整体性”、“综合研究”等名词术语。特别是近几年来分维理论以及《周易》思维与现代自然科学的关系为国内外学者所重视的情况下，地震科学整体观有了较大的发展。在这种大趋势下，作者也开始了地球系统和地震科学整体观的系统研究。这是一个很复杂的领域，目前取得的认识只能作为问题提出来进行讨论。

在地球四象各圈层之间，进行着物质的（地球化学）、能量的（地球物理）交流，它们是一个变化的整体，并受其它天体的影响，成为开放的自组织系统。长期以来，对地球的四象是分类研究的，并形成了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。这四个单象系的研究现已全面进入了开放式研究阶段，最突出的发展是以大气与海洋之间建立起来的海气循环为研究对象展开了一系列交叉研究。近年来又开展了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化学作用等方面的研究，这些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。地震作为固体地球的一种剧变行为，通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分的释放，也确实影响了低空和地区性天气，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

涌与海水急剧增温厄尔尼诺现象、台风与气象变化等，都涉及了固相与水、气的交叉影响。生物圈的发展变化一直受固、液、气三象圈层的影响，反之，生物对固、液、气三象环境的反馈作用也是十分显著的。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、温室效应，臭氧层的被破坏、核冬天的潜在威胁、森林面积的锐减等造成一系列自然生态环境的恶化，对这些问题的系统研究，无疑会推进固、液、气、生（人）四象系的整体研究的进程。

在这种大趋势下，地震预报科学也应对四象系的物理化学变化与蕴震关系进行气方位的研究。

地球化学在象系之间无疑是一个重要而活跃的因子，但是在地震预报科学中对地球化学的重视程度，远远低于对地球物理的重视程度，为了突破地震预报难关，需要重视地质学、地震学、地球化学关系的研究。为此，1996年在中国地震局规划财务司、监测预报司的资助和支持下，开展了“中国大陆地震危险区构造—地球化学特征和区划研究”。本项研究历时5年，主要进行了以下三个方面的工作：在高文学的指导下，由蒋凤亮、朱克文等进行了“中国大陆地震危险区构造—地球化学特征和区划”研究。由张春山、张业成、胡景江、高庆昭等进行了“中国大陆地震危险区地下水水文地球化学特征与区划”及“中国区域地温场与活动构造带的关系”研究；最后由高庆华在有关地球系统科学研究的基础上总结前述几方面研究成果，并参阅了相关的文献资料共同完成了此书。主要目的是企图说明地震预报应以系统整体观为指导，其中对地球化学标志的研究，乃是地震预测、预报科学发展的一个重要方面，具有深远意义和光明前景。

作者们虽然力求使整个成果的整理体现全面性、新颖性、综合性和实用性，但是限于时间、经费和作者们的水平，显然还不能真正全面收集反映已有成果。因此，仅从全书看，缺点和错误之处在所难免，敬请读者批评指正。地震系统有关的局、所、特别应提内蒙古、浙江、安徽、河北等省地震局为本项工作提供了资料，在此一并致谢。

目 录

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	(1)
第一节 地球系统的整体观	(1)
一、系统科学与整体观的发展	(1)
二、地球系统与地壳运动的相关联系	(3)
第二节 地震活动及其与地球系统各种现象的相关性	(8)
一、地球运动与地震活动	(8)
二、地震活动与气象变化	(10)
三、地震活动与海温及海平面变化	(12)
四、地震与洪水	(13)
五、地震与生物异常	(13)
第三节 地应力场与地震前兆及地球化学场的关系	(14)
一、地震前兆基本特征	(14)
二、地应力场与地震前兆的关系	(15)
三、地应力场与地球化学场的关系	(19)
第四节 地球内部化学作用与地震前兆的联系——地球化学预测地震的可行性	(26)
一、地球内部结构	(26)
二、地球内部物理化学作用与孕震关系	(28)
三、地球的排气作用和地震排气	(37)
四、孕震过程中比较活跃的地球化学元素——映震灵敏组分	(40)
第二章 构造带—地震带—地热异常带—地球化学异常带四位一体特征和地震活动的水文地球化学标志	(48)
第一节 东北地区构造带—地震带—地热异常带—地球化学异常带四位一体特征和地震活动的地球化学标志	(48)
一、构造体与历史地震活动	(48)
二、区域地温场与地热异常	(49)
三、地震活动的水文地球化学异常与映震灵敏组分	(50)
第二节 华北北部构造带—地震带—地热异常带—地球化学异常带四位一体特征与地震活动的地球化学标志	(52)
一、华北北部地震活动带的地热、地球化学特征	(52)
二、华北北部地震危险区的水文地球化学标志与映震灵敏组分	(62)
三、华北北部晋冀蒙交界地区未来 10 年地震危险性预测	(81)
第三节 华北南部及华中东部构造带—地震带—地热异常带—地球化学异常带四位一体特征与地震活动的地球化学标志	(81)
一、构造体系、地震活动及水文地球化学特征	(81)

二、地热异常	(91)
三、未来 10 年地震危险性预测	(92)
第四节 华南地区构造带 - 地震带 - 地热异常带 - 地球化学异常带四位一体特征 与地震活动的地球化学标志	(93)
一、主要构造体系和构造活动性	(93)
二、历史地震活动	(93)
三、区域地温场与地热异常	(93)
四、地震水文地球化学异常与映震灵敏组分	(94)
五、未来 10 年地震危险性预测	(96)
第五节 西南地区构造带 - 地震带 - 地热异常带 - 地球化学异常带四位一体特征 与地震活动的地球化学标志	(97)
一、构造体系与构造活动性	(97)
二、历史地震活动	(100)
三、地热活动与热水水文地球化学特征	(101)
四、地震水文地球化学异常与映震灵敏组分	(110)
五、地热异常、水文地球化学异常与活动性构造及地震的关系	(120)
六、未来 10 年地震危险性预测	(121)
第六节 西北地区构造带 - 地震带 - 地热异常带 - 地球化学异常带四位一体特征 和地震活动的地球化学标志	(122)
一、活动构造体系与地震分布规律	(122)
二、区域地温场与地热异常	(122)
三、地震危险性与潜在震源区地球化学标志	(123)
四、水文地球化学异常规律及地震危险性预测	(128)
第七节 青藏高原构造带 - 地震带 - 地热异常带 - 地球化学异常带四位一体特征 与地震活动的地球化学标志	(129)
一、活动性构造体系及区带划分	(129)
二、地震活动及其与活动构造的关系	(134)
三、地热分布与热水水文地球化学特征	(136)
四、热水水文地球化学与活动构造及地震带的关系	(147)
五、地震活动的水文地球化学异常与映震灵敏组分	(155)
六、一些重要启示	(155)
第三章 中国活动性构造体系与区域地温场、地球化学异常区及地震活动区的 关系	(157)
第一节 中国活动性构造体系简述	(157)
一、中国的主要活动性构造体系	(157)
二、地形变	(160)
三、活动断裂与断裂活动性	(160)
第二节 中国区域地温场与地震活动区带的关系	(163)
一、中国区域地温场分布特征	(163)

二、中国地温异常类型及分布·····	(174)
三、地温场成因及其与地震关系·····	(178)
第三节 中国区域地下水水文地球化学特征·····	(190)
一、地下水中常量离子的区域水文地球化学特征·····	(190)
二、地下水特殊组分区域水文地球化学特征·····	(194)
第四节 水文地球化学特征与地震关系分析·····	(215)
一、中国区域水文地球化学特征与地震空间分布规律分析·····	(215)
二、水文地球化学特征与地震形成机制分析·····	(217)
三、水文地球化学预报地震的灵敏组分探讨·····	(218)
第四章 从地震-地球化学整体观对中国大陆地震危险性的分析·····	(226)
第一节 中国大陆地下水水文地球化学-构造地震危险性区划·····	(226)
一、中国大陆地下水水文地球化学-构造地震危险性区划的原则·····	(226)
二、中国大陆地下水水文地球化学-构造地震危险性区划·····	(226)
第二节 基于地下水水文地球化学标志的未来地震危险性预测·····	(246)
一、水文地球化学异常-地震危险区(带)目录·····	(247)
二、水文地球化学异常-地震危险区(带)的总体特征·····	(248)
结语·····	(249)
主要参考文献·····	(253)

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，美国学者贝塔朗非（L. V. Bertalanffy）提出一般系统论。贝塔朗非于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。

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。

最优化就是根据需求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、䇃的研究外，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大规海进退，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, 物质迁移到适当的条件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平衡导致的水平力。

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。

在时间上,生物的分區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律是一致的。

(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质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，巨型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 and 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边，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。

综上所述，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）。

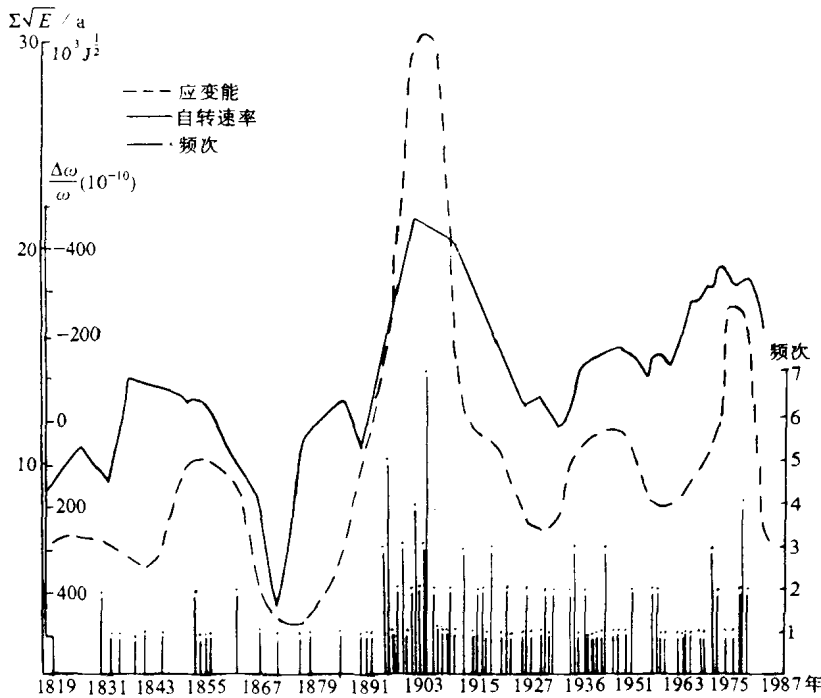


图 1-1 地球自转速率变化与全球 $M_L \geq 8$ 大震综合关系图

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