

大陆漂移, 板块构造, 地质力学

赵文津

中国地质科学院, 北京 100037

摘 要: 本文简要地介绍了魏格纳大陆漂移说的主要内容及其提出的依据; 论述了在大陆漂移说的基础上, 由于海洋地质地球物理调查发现了大洋中脊、洋底扩张, 解释了大陆张裂的机制, 并建立了全球板块构造理论, 形成现代地学思想的革命; 李四光在大陆漂移说提出的同时已在积极地探讨和论述大陆地壳水平运动问题, 并结合中国大陆实际, 发展了陆内碰撞变形理论, 即包括全球大陆构造体系在内的地质力学理论和方法。他强调地质力学是一支脚站在地质上, 另一支脚站在力学上来研究地壳运动和变形现象。后来更扩大了其在资源、环境方面的应用。文章对魏格纳大陆漂移说、全球板块构造理论及地质力学三者的关系做了深入探讨, 论述了李四光地质力学理论方法的现代意义、超前意义, 提出要重视和发扬李四光留给中国人民的宝贵遗产, 建议深入学习李四光的著述, 结合地质调查新成果去丰富它和发展它。

关键词: 大陆漂移; 板块构造; 地质力学; 李四光

中图分类号: P55; P541 **文献标志码:** A **文章编号:** 1006-3021(2009)06-717-15

Continental Drift, Plate Tectonics and Geomechanics

ZHAO Win-jin

Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037

Abstract: This paper briefly describes the major content and basis of Wegener's continental drift hypothesis and deals with the fact that, due to the discovery of the mid-ocean ridge and the ocean floor expansion during the geological and geophysical survey on the basis of the continental drift hypothesis, researchers have explained the mechanism of continental tensional faulting and established the global plate tectonic theory, thus resulting in the revolution of modern geoscience thinking. Simultaneously with the emergence of the continental drift hypothesis, Li Siguang actively approached and dealt with the problem of continental crust horizontal movement and, in combination with the reality of China's mainland, developed the theory of intracontinental collision deformation, i.e., the geomechanic theory and method that included the global continental tectonic system. Li Siguang emphasized that geomechanics studies the phenomena of crustal movement and deformation on the basis of geology on one side and mechanics on the other side. Later, he extended the application of geomechanics to the aspects of resources and environment. This paper makes a thorough discussion on the relationships between Wegener's continental drift hypothesis, global plate tectonic theory and geomechanics, expounds the practical significance and fore-sight significance of Li Siguang's geomechanic theory and method and puts forward the suggestion that we should attach great importance to and carry forward the valuable heritages that Li Siguang left to us, deeply study Li Siguang's works and, in combination with new achievements of geological survey, enrich and develop his theory.

Key words: continental drift; plate tectonics; geomechanics; Li Siguang

大陆漂移、板块构造与地质力学是什么关系? 已形成地学革命的巨大浪潮, 在这种形势下, 地质随着 20 世纪 60 年代末板块构造理论的提出和发展, 力学还有生命力吗? 已故的周恩来总理曾将李四光

本文由中国地质调查局项目“青藏高原深部结构探测与地壳活动特征”(编号: 1212010511809)资助。

收稿日期: 2009-03-25; 改回日期: 2009-12-07。

作者简介: 赵文津, 男, 1931 年生。中国工程院院士。主要从事矿产勘查与深部探测研究。通讯地址: 100037, 北京市百万庄大街 26 号。电话: 010-68999652。E-mail: zhaowj@cae.cn。

同志赞誉为“中国科技界的一面旗帜”，从学术角度上还能成立吗？

这是国内人们很关心的重大事件。本人学习了有关知识和史料，探讨了这一问题，有了一些认识，愿意提出与大家共同研讨。

地质力学思想，是李四光在 20 世纪早期(1926 年)提出和发展的，到 40 年代初正式提出了“地质力学”这一名称。

李四光说“地质力学是一门边缘科学，它的一条腿站在地质学方面；另一条腿站在力学方面。反映地壳运动的一切现象，是它考察和研究的对象(李四光, 1965)。”这是李四光给“地质力学”下的定义。他进一步解释说“按照认识运动的过程来看，我们必须把那些对于客观存在的感性知识，在主观方面加工，精炼出理性的知识。这就需要力学出来帮助，否则地质力学只能停留在描述现象的阶段，而很难揭穿那些现象发生的内在因素。”只有研究了解了地壳运动发生的本质，深入认识了地壳运动现象，才能正确处理好人地关系，实现人与地球的和谐相处。如果只作地质现象的归纳，而没有力学的分析探讨，是不能说是地质力学的研究，当然，也就谈不到大陆动力学了。

李四光定义和使用地质力学这一名词，是在 20 世纪 20-40 年代。从当时物理力学包含的内容和李四光使用时强调要解决地壳运动本质的任务要求看，他所定义的地质力学的力学内容，应当是指研究地壳变形和运动的力学机制，这个机制就是地球运动的动力学机制。否则，如不是研究运动的动力学机制又如何能去解决地壳变形和运动的内在本质呢！以后，国外的发展，将地质工程所用的力学称为地质力学，而将研究地壳运动和变形的力学称为大陆动力学或地球动力学，其实两者的内容上是一致的，也是密切相联系的。所以，今天我们谈“地质力学”就应当明确它既包括了大陆动力学或地球动力学(包括大洋岩石圈)的内容，也包括有工程地质中的力学问题，做这样的理解，就不能说“地质力学”是过时的了，而是涵盖的内容更为广泛，也更为科学了！过去把研究地球物质都称之为研究“地质(Geo)”，现在已把“地质”含义，扩大为“地球”了。如早期人们就把 Geophysics 译为地质物理学，现在则译为地球物理学。这样地质力学就当时用意的实质讲，今天称为地球力学或地球动力学的含义是一致的。

李四光学术思想的主要特点，可以概括为以下

3 点：

(1) 主张大陆地壳是以大规模的水平运动为主，也有垂直运动，但是，它是派生的。

(2) 强调用力学的思想和方法(即动力学方法)来分析地球运动现象，力求认识其发生演化的本质。

(3) 强调从整体和系统的角度认识这些大陆地壳变形规律，认识复杂构造各部分之间的关系，建立了一系列典型的大陆构造体系。提出从结构要素、地块形态和构造体系角度分析地壳受力和运动的情况。

有人强调地质力学的核心思想就是系统论，我认为这是不全面，没有对地质现象的力学分析，哪还有什么地质力学！在力场作用下构造变形将会形成不同的构造体系。

下面将分四个部分讨论这一问题。

1 地质力学是在欧洲两种地学思想争论中发展起来的

1.1 1915 年魏格纳正式出版了《海陆的起源》一书引起地学界的热议

在惠兹坦因、施瓦茨、皮克林、泰勒等人发表多篇论述大陆漂移的文章的基础上，1912 年魏格纳系统地论述了这一观点，1915 年正式出版了《海陆的起源》一书(魏格纳, 2006)，1924 年出版了英译本，随后引起国际更为广泛的关注和激烈的争论；争论的另一方是主张地壳是以垂直升降运动为主的固定论学派，即欧洲传统的和苏联正统的大地构造学派，如德国的施蒂勒，美国的大多数地质家，前苏联的沙茨基、别洛乌索夫等人为首一批学者。他们坚决反对大陆漂移说，以致这一思想长期被压了下来，直到 20 世纪 60 年代。由于海洋地质和洋底扩张的确定，导致板块构造理论的提出，才肯定了魏氏理论的正确性。

P. J. Wyllie 写到，1926 年，美国石油地质学家协会，为研究大陆漂移学说，曾在纽约组织了一次地质学界知名人士集会。会上有些发言者辩解称，大陆漂移有充分的证据。但大多数人则申明存在着反对这一学说的重大理由，并且使用了极其挖苦的讽刺语言。总的说来，这次会议的结果并没有使大陆漂移学说在北美受到进一步的注意，尽管辩论在别处仍在进行(Wyllie, 1980)。

在这种争论背景下，时年 37 岁的李四光于 1926 年发表了长篇文章“地球表面形象变迁之主因”(李四光, 1996)。强调了地壳水平运动的重要性，论述了

他对地壳运动的一系列看法与理论,并对魏氏理论给予了高度评价与支持。在文章中作者初步提出大陆构造和构造体系的想法。

1.2 李四光对当时大陆漂移主要提出者的评论

李四光说:纯粹是一个偶然机会,作者有幸在我们有限的图书馆里发现了泰勒的文章,惊喜地见到,自己心中逐步成型的较为明显的事物有许多已经被写出来了。遗憾的是,这样一篇重要文章竟被埋没在大量地质文献中,没有得到应有的注意。文章中分析了从苏士(1885, 1904), 泰勒(1910), 魏格纳(1915), 约里(1924)等人提出的革命性理论的重要意义和其不足之处。对这些人的文章, 魏格纳在著述中也多次提到和引用, 并认为他们的想法与自己的想法也是不谋而合。作者有如下分析:

(1) 泰勒(F.C.Taylor)的文章, 提到欧洲与亚洲一起向南蠕动, 因而在第三纪掀起横跨欧亚的山脉带, 北美如何由于向西南漂移而与格陵兰扯开, 以及澳大利亚如何向东北移动等事例; 他考虑到大陆南移的动力问题, 也提到了潮汐力, 并把它作为海洋振荡或岩石圈变形中, 使地球扁度变化的惟一可能的作用, 但是他没有考虑到地球形状变化的根本原因。

(2) 魏格纳理论, 认为魏的提法比较全面, 也比较系统, 而且有启发性, 还提出了较多的证据。他提到了两组运动: 大陆块的西移与“极移”为特征的运动。认为大陆向西漂流, 可能是潮汐的拉力作用, 或更可能是由于极移与地球自转的联合作用, 这种建议太寓言似的, 令人无法深刻理解; 学说的动力基础问题没解决; 造山的周期性, 用极移力不好解释; 各地质时代气候变化现象也不需要地极位置有任何显著变化去解释等;

(3) 认为约里的理论更具有革命性。其严肃的论证, 对迄今尚未探索过的领域作了新颖的说明。主要论点有地壳分两层, 地壳放射性生热, 大陆壳下保留的热可以将硅镁层熔化, 潮汐力将在熔化的硅镁层上漂浮的大陆块拉向西运动, 海底对流系统对硅镁层的冷却等等。

(4) 他也提到另一派(笔者注, 可称为对流派), 认为地球内部不断发生对流, 轻的物质上升, 重的物质向下, 造成大陆在某些地带拖开, 使其分裂, 海洋侵入, 形成大陆分裂; 在大陆块碰到海底较重和较硬的硅镁层的抵抗时, 便会发生大规模的挤压, 挤压造成地槽, 后来转变为大山。但是, 他没有进一步谈地球内部对流的具体内容, 不知对流是在哪个层次上, 又如何实现对流的。

李四光发表《地球表面形象变迁之主因》一文正式宣告了他支持欧洲大陆漂移的地质思想。他也是在中国推动和发展这一理论的第一人。如上所说, 当时正是在美国否定大陆漂移之际, 就在李四光宣读上述论文时当场就遭到美国人维理士的责难。文章也表明他除了继承了魏格纳等的一些见解外, 重点发展了大陆构造变形体系理论。这是地质力学的主要内容和特色;

1939 年他在英国《地质杂志》(Geological Magazine)上发表了《大陆漂移》(李四光, 1939)文章, 公开支持杜·托伊特(Du Toit A. L.)的《我们的漂移大陆》一书观点, 成为当时国际上支持大陆漂移学说的三大学者(英国的霍姆斯, 南非的杜·托伊特, 中国的李四光)之一(李立文, 1992); 在 1956 年作者一次报告中, 还强调了“在这样众说纷纭的时候, 我们必须坚持科学的态度, 不要轻易地接受任何一派没有充分根据的成见(李四光, 1956)。”这就是李四光治学的基本态度和方法是很值得学习和发扬的。我们强调李四光地质力学是中国人的自主创新成果, 并不是说他是“关门修行”没有吸取外国同行的先进地质思想自己完成的, 当时在欧洲大陆环境下学术交流是很广泛的, 也是很自然的。要知道, 李四光当时已对中国地质问题有了广泛的研究了, 如早在 1921 年他就在英国《地质杂志》(Geological Magazine)第 6 期、第 7 期、第 8 期、第 9 期上连续地发表了“中国地质概要”一文, 系统地介绍了中国的地质情况就是一例。

1.3 关于魏格纳大陆漂移理论的要害

1.3.1 在魏氏的《海陆的起源》一书中表述的主要有以下几点:

① 石炭纪以前地球上的大陆是一个统一的大陆, 即泛大陆, 其四周为大洋包围(图 1)。

② 从中生代以来泛大陆逐步解体, 大陆块在海底(硅镁质的岩浆)上进行漂移。

③ 陆地上的高褶皱山系是陆块受洋底阻力被挤压而成的。

④ 大陆块由较轻的硅铝质组成, 漂浮在较重的粘性的硅镁质的大洋底之上。

⑤ 大陆块漂移是在由两极向赤道的力, 和向西移的力作用下发生的。

作者系统地批驳了冷缩说、陆桥说、大洋固定说(但作者认为全球海陆面积不变)。

1.3.2 魏格纳论证了大西洋两侧是拉开的, 大陆是向两侧漂移的。

① 地球物理学角度, 即大地测量发现的大陆

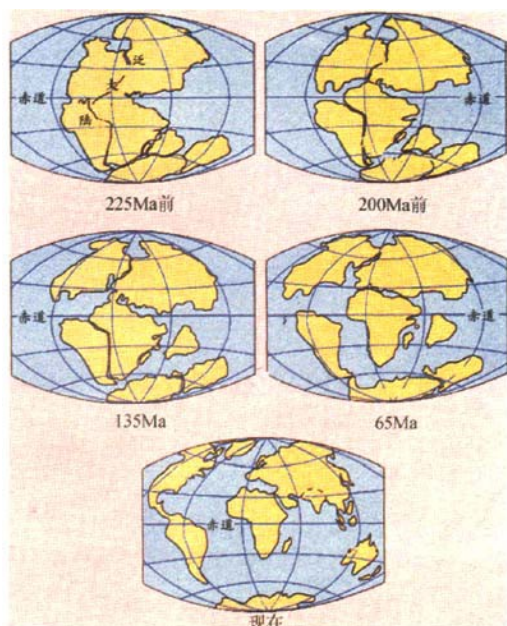


图1 不同时期大陆块拼合情况(引自魏格纳, 2006)
Fig. 1 Collages of continental blocks in different periods (after Wegener, 2006)

和海底为两个基准面; 以及海洋重力、海洋磁测、地震学调查结果, 认为大陆与海洋是地球上的两种基本单元(第三章);

② 从地层、构造、古生物等分布角度(第四章);

③ 从动植物分布角度(第五章); 如图2为中龙化石分布图。

④ 从现代地球主要气候分带、冰川分布等的角度(第六章);

⑤ 从同位素测年的角度, 根据各地质时代的绝对年龄数据估算了一些大陆块体之间的分离速度(第七章)。

⑥ 利用天文大地测量结果论述了大陆块体短时间内存在的纬度和经度上的变化, 试图直接证明大陆的移动(第七章)。

1.3.3 魏格纳最后分析了运动的力源, 强调了3点:

①向赤道的离极力, ②因地球自转产生向西的力, ③重力均衡产生的垂直向上的力。并提出均衡补偿面深度在114 km或120 km。

1.4 李四光文章中谈到当时地学界的情况是:

(1) 大多数地质学家似乎是‘见树不见林’, 就事论事, 局限于一地一事一时;

(2) 对引起地质构造运动的力的作用和运动机制问题并不关心。他强调既要重视调查, 对地质现象进行归纳, 又要从力的作用角度研究和解释如何



图2 中龙化石分布图(引自魏格纳, 2006)
Fig. 2 Distribution of Dinosaurs fossils (after Wegener, 2006)

产生这些地质活动, 这就提出了地质力学问题。

(3) 强调了要用多学科的研究成果综合地研究和论证地壳运动问题。李四光具体地提出要从12个方面进行研究探讨(李四光, 1996)。这12个方面是: ①古地理; ②火成岩活动; ③古气候; ④古生物; ⑤地热学; ⑥地震学; ⑦大地测量学; ⑧重力场方面; ⑨古地磁方面; ⑩天文地质方面; ⑪地质构造方面; ⑫关于岩石的物理性质等。要广泛地收集资料, 开展多学科的综合研究。

2 地质力学的6点基本内容

2.1 关于力的来源

李四光强调要根据区域构造现象之间的相互关系, 即各种褶皱和断裂之间的关系进行分析。鉴于大陆上大规模的纬向和经向构造现象, 他提出造成运动的力有: (1) 离极力(由重力和离心力组成), 推动地壳向赤道运动; (2) 推论地球自转速度变化产生大陆向西移的动力, 它可以是挤压力, 也可以是拉张力; 提出“大陆车闸”的理论。(3) 重力均衡调整地壳垂直运动; (4) 太阳与月球引起的潮汐力。

关于“大陆车闸”的理论, 他说 地球运动必需遵守角动量守恒定律, 即: 转动惯量 $\times$ 角速度等于一个常数。这样, 当地球转速加快后, 地球内部物质就会因离心力加大而向赤道和向上运移, 以致转动惯量加大; 当转动惯量增加后, 又反过来促使地球转速减小, 以适应之; 当地球转速减小后, 地球物质又向两极和向下运移, 使地球转动惯量减小了, 这又要求地球增加转速。如此调控着自己的转速, 引起地球构造运动的周期性。对这一“大陆车闸”理论, 李四光自己是这样评论的: “这样立论大体上说, 也和其他各派的学说一样, 在方法论上存在着很大的缺点。主要的缺点在于: 用的资料不够广泛、不够细致、不够落实, 而是片面地抓住一些事实, 或者若

干现象, 参考一些第二手资料, 就急急忙忙地提出大的理论来。实际上, 这些所谓理论, 是很低级的, 也是很粗糙的。它们所依靠的证据, 往往可以这样解释, 也可以那样解释, 不够严格, 也不够严密。这是一个很深刻的教训。这是地质力学发展的第一个阶段的情况(李四光, 1965, 1979)。”今天看来, 这一“大陆车闸”理论是符合物理定律的, 还不可能有什么理由去推翻它。问题是需要进一步具体化, 找到更多的实证出来。

2.2 提出以“平板梁”模型的受力来模拟地质块体间产生的构造体系和构造体系各部分的关系

(1) 强调地球表层分为四类地区(李四光, 1926, 1979): 大陆、海洋、陆缘海与壳下层。大陆块为硅铝层, 25-35 km 厚; 玄武岩层位于大陆块之下并形成洋底。大陆块之下由于有放射性元素产热, 大陆本身又起着防止热外逸作用, 从而使积累的热量达到硅镁层熔化的状态, 易发生流动。李十分赞赏约里的上述分析, 并称玄武岩层为壳下层, 认为它是重要的运动调节层。并认为四种地理单元具有不同的物理性质和独特的分布, 对地球转速变化的响应大不相同。

(2) 提出平板梁理论(李四光, 1926, 1979)。将大陆块看成是一个平板梁, 厚度取决于大洋的深度, 在两端或一端有支撑点, 在南北向的离极力作用下发生变形, 在其内侧将产生压性变形, 而在其外侧将产生张性变形。把区域性的应力和变形看成是在一个统一力场作用下形成大的构造体系。大的构造体系将可控制一个大区域的构造基本特点。加力时在平板的外侧发生张性力, 内侧发生压性力。提出在南北向力的作用下, 由于存在支撑点不同, 以及陆壳与壳下层的粘滞性不同而形成山字形构造体系, 纬向构造体系, 入字型构造体系, 以及各种扭动构造体系, 旋卷构造体系等; 在地球自转速度变化时由于大陆块与壳下层的粘滞性的不同产生经向压缩或拉张构造体系; 以及上述两类构造体系的复合体系。图 3 说明东半球在平板梁理论下形成的洲际规模构造体系的情况。

图 4 表明大陆边缘变形机制问题的解释。欧亚大陆和北美大陆的边构造都与大陆向南的运动受到大洋的抵抗而产生的。

2.3 多种构造体系及物质运动

(1) 李四光说构造体系的研究, 开始时以地质观察为主做出分析判断, 后来则强调对野外观测结果的归纳(如先后发现乌拉尔山字型, 宁镇山字型、广西山字型等)、现场的力学性质与应力场分析、室

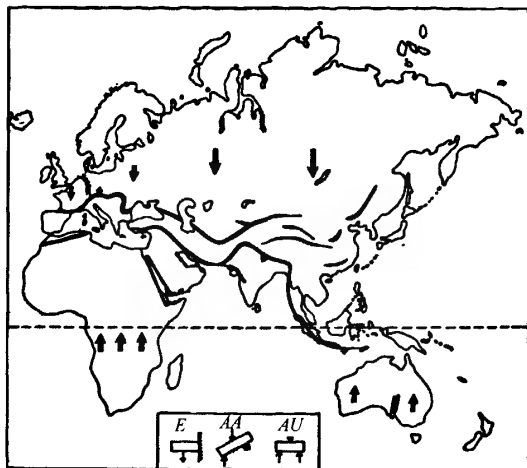


图 3 用平板梁模拟大陆地块受力与变形情况
Fig. 3 The simulation of force-enduring and deformation conditions of the continental block with the help of the flat-plate roof beam

箭头表示大陆块施力的方向和一些较晚地质时代产生的重要变位。插图是一个图解, 说明鉴定平行线指示的断裂的原理。

E. 欧洲; AA. 非洲、亚洲; AU. 澳大利亚

Arrows indicate force application directions of continental blocks and some important position variations produced in somewhat later geological epochs. The illustration is a diagram showing the principle of fracturing indicated by the appraisal parallel lines.

E-Europe; AA-Africa; Asia; AU-Australia

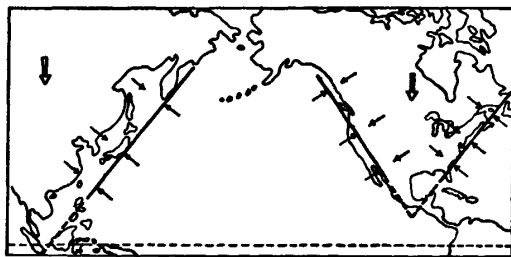


图 4 北美和东亚边缘变形原因的解释
Fig. 4 Interpretation of the causes of deformations on the margins of North America and East Asia

内物理和数学模拟实验(平板梁在水平面上受到弯曲而发生的形变模拟), 岩石(有时显示为弹性, 有时表现为程度不等的塑性反映)等, 使构造体系分析更科学化了(李四光, 1965, 1979)。

(2) 李四光提出全球性的构造体系有(李四光, 1956, 1996):

- ① 东西向构造带;
- ② 山字型构造带;
- ③ 交叉大断裂(主要为走向东北—西南和西北—东南);
- ④ 南北向之字型或歹字型大地槽;

提出这些大规模的构造现象表明,地球表层,特别是各大陆的上部有两个动向:部分地向赤道方面挤压;部分地向西,但有时也向东挤压。其起因,可以,似乎也只能够从地球自转速度变更加以说明。地球自转速度的变更,可能起源于外因,也可能起源于内因。潮汐作用显然是一种使地球自转速度变慢的外因……

(3) 在“平板梁”模型模拟条件下,在“平板梁”的外侧,拉张应力作用下形成南北向的纵向张性大裂谷,认为东非大裂谷就是一例;大裂谷,因地球自转速度变化,在角动量守恒的约束下,地球物质发生上下调整,如,造成德干高原大面积的玄武岩喷发。

(4) 在地壳增厚(因水平运动造成)的条件下,重力均衡作用可使地面升高,形成山脉或高原。喜马拉雅山,安第斯山及落基山的抬升与此有关,等等。

2.4 从全球岩相古地理谈全球运动

在“地球表面形态变迁之主因(李四光, 1926, 1996)”一文中,作者从中国南、北方石炭-二叠系分别为海相和陆相地层的事实出发,进一步对比了世界各处的岩相古地理,提出了从元古代起不同时代全球海水发生着向北和向南的进退变化,否定全球统一海侵和海退的说法;作者进而探讨了其与地球自转速度变化的关系,归结出全球规模的大型地壳运动规律,论述了造山造陆的周期性。这一研究对作者以后地质力学发展起了奠基作用,也说明李四光同样重视从建造角度研究地壳运动的。但是他在分析中并未结合各个陆块的漂移问题,为什么?显然这是今后要考虑的进一步工作。

2.5 关于构造体系与控制矿规律

研究大陆的构造体系,一方面是认识地壳运动变形的规律,另一方面就是为解决矿产赋存规律和地质环境问题做贡献,这也是地质力学的特点。这方面已取得成功经验的有以下几方面:

(1) 构造应力场驱油与构造体系控制油气藏分布;

(2) 构造体系与地应力作用——地震预报新思路;

(3) 地壳内构造动力、构造体系与热液矿床分布——W, U, Cr 等找矿;

(4) 区域稳定性与安全岛的思路;

2.6 地壳运动与环境问题-冰川现象

(1) 李四光强调冰川现象分全球性和地区性,全球性的大冰期,近期地质历史上出现三次,这是影响大局的;遗憾的是我们已取得的成果很有限,还需要做大量的工作。

(2) 每两次冰期相隔约 2.5-3.5 亿年是周期性与非周期性因素联合所致。

(3) 分析批驳了其它六种大冰期生成原因的说法。提出海水降温失掉热量与大冰期有关,多数人赞成这一意见。提出天气变冷的现象,它可以自我调节。可是它与地球层圈间的交互作用的关系研究并不够。

(4) 过去的大冰期时期后,有些高级生物继续存在,并未全灭绝。

3 当代板块构造理论及大陆动力学的发展和问题

板块构造理论是在魏氏的大陆漂流学说基础上形成的。当代地球动力学与大陆动力学是在板块构造理论的框架下发展的,均强调要加强构造形成演化的动力学机制研究。当时魏格纳已提出了海底扩张的设想,但没有引起人们的重视。

3.1 大陆漂流学说的重新被承认

主要是由于:(1) 海洋测深的广泛调查,发现了大洋中脊海山系统,规模很大,高差相差也很大;(2) 地质地球物理调查的发展,发现以海洋中脊为中心对称分布的磁异常带;(3) 海洋钻探取样、测年技术、海底玄武岩不同年代海底磁条带的肯定。随后赫斯与迪茨(1962)提出海底扩张说,瓦因和马修斯对磁异常与磁条带的形成提出解释(1963),摩根、麦肯齐及勒皮雄等(1968)同时提出了全球岩石圈划分为六大板块。见图 5, 图 6。

这样就形成了板块构造理论。其主要内容可归结为以下几点:

(1) 全球岩石圈(注意不是指地壳!)分成六大“刚性”板块。各个板块均包括有海洋地块和大陆地块,其中欧亚板块以大陆地块为主,而太平洋板块则以海洋地块为主。刚性岩石圈板块在软流圈上漂移。

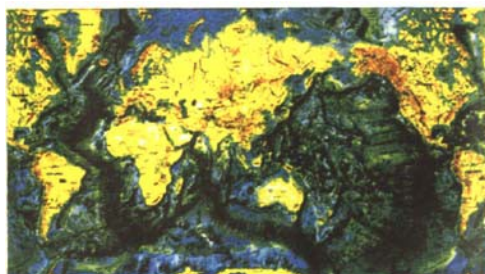


图 5 全球地势图

Fig. 5 Global surface relief

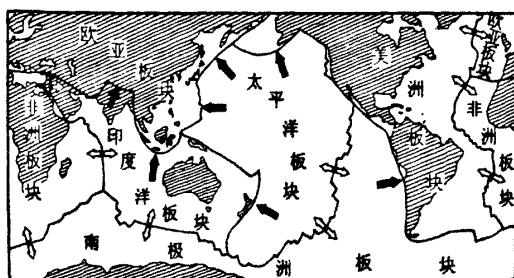


图 6 全球六大岩石圈板块划分图(据勒皮雄, 1968)

Fig. 6 Map showing plate division of six major lithospheres in the world (after 勒皮雄, 1968)

(2) 每个板块都包括有三种边界, 即: 扩张边界(中脊系统)、会聚边界(俯冲带及沟、弧、盆系统, 碰撞带或会聚带、拼合带等)和转换边界(剪切性的转换断层)。后者是由于沿中脊各段间运动量不同, 造成段与段之间发生了剪切断裂。

(3) 中脊处为扩张边界, 岩石圈被拉开, 拉斑玄武岩的地幔物质在中脊处涌出并形成新洋壳, 新洋壳向外扩展, 在海沟处消减掉。大陆块随着岩石圈板块的移动而移动。

(4) 威尔逊(1965)认为大洋在海沟处俯冲消减的结果将形成大陆边缘岛弧带, 大洋俯冲消减的结果就导致大洋消失, 大陆与大陆发生碰撞, 形成碰撞造山带; 大洋则是由大陆开裂, 逐步扩大后形成的。这就是威尔逊旋回。作者在这里将大陆开裂与大洋形成联系在一起。地幔物质在这一过程中实现了循环。

(5) 板块运动的动力来自海底扩张和地幔对流的拖曳力。但是海底扩张与地幔对流产生的机制又是什么, 没有后文。

很明显, 板块构造理论主要是论述海洋地壳运动及其与大陆板块的交界处的构造作用, 但是, 它论及大陆构造时也仅仅限于大陆边缘地带与大陆裂谷, 对大陆内部的构造论及的不多, 而强调和研究大陆上的构造则是李四光研究的特点, 两者在这一点上是互补的, 而不是可被取代的。

再者说, 板块构造理论的提出也不是什么问题都能解答了, 而是提出了更多的问题有待解决。这表现在一系列国际岩石圈计划的提出上。

3.2 从 60 年代以来, 国际上提出和执行的研究计划

如国际科学联合会, 在 1980 年成立了跨各专业委员会的国际岩石圈委员会, 各国有关地质学部门都提出了多项国际合作计划, 推动岩石圈研究的深化。其中主要的有, 1960~1970 年的上地幔计划,

1974~1979 年“地球动力学计划”, 1980~90 年“岩石圈动力学, 组成和演化计划”等等。美国 1989 年提出的 30 年“大陆动力学研究计划”(R. Phinney, 1963), 中列出了 8 个野外实验室: ① 魁北克湾; ② 西科迪勒拉, 地壳与地幔计划; ③ 南加州地震与变形; ④ 印度-欧亚大陆陆陆碰撞带; ⑤ 西北太平洋-碰撞、俯冲与火山活动; ⑥ 北美新构造与新气候计划; ⑦ 现代厚的沉积楔—San Marcos 弧或 Cascadia 碰撞楔; ⑧ Katmai 火山活动。2004 年美国又提出“地球透镜计划”, 计划列有四个主要目标: ① 美国全美地震台站阵列计划(USArray); ② 圣安德列斯断层深部观测计划(SAFOD); ③ 板块边界观测计划(PBO); ④ 干涉法合成孔径侧视雷达测量(INSAR)计划, 主要对地表微小形变进行实时测量。最近 2007 年欧洲又提出一个新计划---ISES---综合固体地球系统, 内容包括有 4 部分: ① 地中海欧洲与非洲的碰撞(Europe-Africa Collision in the Mediterranean); ② 泛大陆的大陆地形(Continental Topography in the Pannonian); ③ 荷兰三角洲的下沉(Subsidence in the Netherlands' Delta); ④ 北大西洋的大洋形成(Ocean Formation in the North-Atlantic)。

使用的新技术有: ① 深海钻井取样技术; ② 海洋磁测技术; ③ 同位素测年技术; ④ 古地磁理论和方法技术; ⑤ 包体与深层取样的地球化学研究; ⑥ GPS 与天文大地测量技术; ⑦ 深部调查技术, 特别是深反射地震技术, ⑧ 地震层析成像技术; ⑨ 航空与航天遥感技术; ⑩ 大型计算机技术及数学构造模拟技术等。

这些计划的内容和目标主要集中于大陆岩石圈结构构造及其动力学演化, 大洋岩石圈, 大陆与大洋环境, 岩石圈构造与矿产, 全球变化等。有意思的是, 地表形态的四维变化又成为研究热点, 显然, 它与 1926 年李四光提出的地球表面形象变迁的主因问题是一致的, 老问题又成为新的欧洲岩石圈计划的研究内容之一, 表明这一科学问题并没有过时。新时代更强调采用新技术与国际合作, 更关注圈层之间的相互作用。

3.3 近几十年来大陆动力学研究的内容主要有:

(1) 大陆岩石圈结构、构造演化与成矿作用。主要研究的对象有: 喜马拉雅-阿尔卑斯山陆-陆碰撞造山带形成演化与矿产生成; 西藏高原等高原的形成演化与隆升机制; 大型裂谷与新生大洋的研究; 深俯冲与超高压榴辉岩带形成机理研究; 乌拉尔等老造山带形成演化; 盆地形成演化与油气分布; 构造体系与构造模拟研究; 中国一些人还强调了大陆

岩石圈拆沉问题。

(2) 大洋岩石圈结构与构造演化;

(3) 洋-陆相互作用的造山与成矿, 如安底斯造山带的结构与构造演化, 及其与大型斑岩铜矿的成矿作用;

(4) 地震、火山与板块运动动力学;

(5) 地幔对流与岩石圈拆沉问题, 热点理论;

(6) 四维地形演化——隆升、地沉与海平面上升及其动力学机制;

(7) 层圈结构及相互作用, 与全球变化的关系;

(8) 全球构造体系及其形成演化机制;

(9) 岩石圈各层运动及驱动力的来源等等。青藏高原深层物质流动去向问题。

3.4 几个问题

(1) 关于大陆上的构造及构造体系。在一个力场作用下, 大陆上形成的构造不可能是彼此孤立的, 而是形成于不同的构造体系之中。李四光提出了地球上存在全球规模的构造体系有四类(李四光, 1956, 1996)。板块构造理论及现代大陆动力学研究中已提出的经过论述的构造体系是很少的。以青藏高原构造体系为例, Tapponnier 以一矩形块体向北推挤欧亚大陆做物理模拟试验, 研究高原上形成的构造体系, 起名为滑移线场或逃逸的理论。England 和 Molnar (1982) 提出另一种双向剪切模式。李四光则早在 1929 年从更大范围内提出南北向和东西向双剪切形成以昌都为中心的青藏滇缅印尼歹字型构造体系。见图 7, 图 8, 图 9。

作为新生代以来形成的构造体系, 显然哪个模式都有不足, 有其根本性的弱点, 都不完全符合高原东部的实际。需要从新厘定和对比。要考虑到高原不是一个均匀的矩形块体, 而是多个矩形块体或近似矩形块体的拼合体。各块体本身也是不均匀的。向北推挤的块体也不仅仅是印度大陆一个简单的矩形块, 而是包括印支半岛在内的不对称的楔状体, 北部锋面是东西向的, 其东侧锋面则是一向东南的斜面; 表壳层的移动也不是仅仅向北和向北东移动, 还有一系列向南的大推覆构造等等。此外, 关于作用力问题, 应当说, 也不是现在人们常提到的一种力的作用, 实际上还应有从北向南的力(李四光强调了这个力), 两力相抵才能使地块的薄弱地段产生变形; 碰撞产生反作用的向南的力还使喜马拉雅山造山在缝合带以南 100-150 km 处抬升起来。此外, 还要考虑地壳表层变形的深度, 可能不仅限于上地壳的硅铝层范围内。

(2) 关于印度大陆块的向北运动(可能是从白垩

纪末开始?)的机制问题。什么原因使其向北运动, 并对欧亚大陆推挤施压? 魏格纳提出在印度大陆与马达加斯加之间为一条裂隙, 大洋的硅镁层向外涌出, 他说“塞舌尔浅滩两端的反曲(即塞舌尔浅滩的西北和东南两端都向西南方向弯曲), 表明硅镁层流的流动从马达加斯加岛与印度的中线向两侧(笔者注: 指塞舌尔浅滩的西北端和东南端)有所减少。”又说“这股硅镁层流(也带动马达加斯加岛)在对准印度的路途上流动, 可能是由于大陆漂移而产生的。但也可能是相反, 是硅镁层流产生了印度的漂移而使印度和锡兰(今斯里兰卡)分离了。”这里, 他强调的是印度大陆硅铝层是在大洋硅镁层上漂移。现在的板块构造理论认为是洋底扩张导致大陆运移! 海底扩张, 即海底玄武岩熔岩和岩墙沿大洋中脊流出, 形成高山, 如大西洋中脊, 可以高出两侧盆地达 2-4 km, 宽可达几百到几千 km, 但是厚度仅为 5 km 左右。可以设想, 涌出的熔岩将像火山锥斜坡处的熔岩一样, 会因重力作用而产生了向两侧流动。这样的海底扩张如何能将大陆块带走呢? 因为大陆块不仅是包括硅铝层, 还包括有大陆硅镁质的下地壳和岩石圈地幔层, 这样, 大陆块的厚度达 70(活动带地区)-200(克拉通地区)km, 它就像一个桩子那样深插到上地幔中, 那么 5 km 厚的洋壳流动又如何能将其运移走呢? 如果认为它可以带走大陆块体, 则这种设想显然又认为大陆块很薄, 以致于薄的大洋壳就能将其带走, 这种想法就又回到魏格纳的想法上去了! 如果说是上地幔内软流层内的对流拖着印度大陆岩石层向北偏东运移, 又如何设想这种拖动呢? 大陆块移动, 与其相连接大洋岩石圈移动不移动? 大洋岩石圈移动时, 大洋中脊是否也应拉张呢? 大洋中脊如被拉开, 是不是随着洋底的不断生成、扩展, 大洋岩石圈地幔也在不断生成和扩展? 否则又会是什么情况呢?

(3) 关于洋中脊的生成。威尔逊仅仅提出大陆开裂, 逐步扩大, 和形成大洋, 但对中脊形成的机制没有说明。李四光 1926 年对非洲大裂谷的形成有个分析(李四光, 1926, 1996)。东非大裂谷分布在东非, 宽达 50-80-几百 km, 南北向长达 6 400 km, 河岸壁陡, 有些地段高差可达 2 700 m。他说“从非洲大陆大部分位于赤道带上或挤压带上这个事实出发, 可以预期其变形类型不形成造山褶皱, 而是作为相对的两半球相互挤压的结果, 赤道带升起成高原, 而这正是非洲的主要特征。更进一步说, 据确定泊松比中包含的原理, 当对一固体在某一方向施加压力时, 则在直交于挤压力的方向产生张应力。那么,

如果非洲陆块, 或者至少其赤道带, 一方面由南向北推进, 另一方面遇到欧洲的抵抗, 它就将受到纵向挤压, 因而同时必定受到东西方向的张力。如若这个张应力超过它的破裂强度, 其结果将产生南北向的裂缝。这正是在东非实际发生的, 在那儿我们看到大断裂谷延伸超过了北纬 52° 的距离, 并据格利哥里的材料, 在赤道区发育最好。”

魏格纳提出大陆裂谷的发育过程, 先是陆壳开

裂, 后逐步加深扩大然后海洋由窄变宽, 形成大洋。见图 10。

现今地球上裂谷的伸展方向并不一样, 已经存在的中脊分布方向也不统一, 为什么会形成这样分布的大洋中脊系统? 地幔对流为什么出现有东西向和南北向不同方向的流动? 其机制是什么? 有人强调南半球是膨胀的北半球是压缩的, 是事实吗? 为什么会形成这样的运动格局? 还没有个解释。看来,

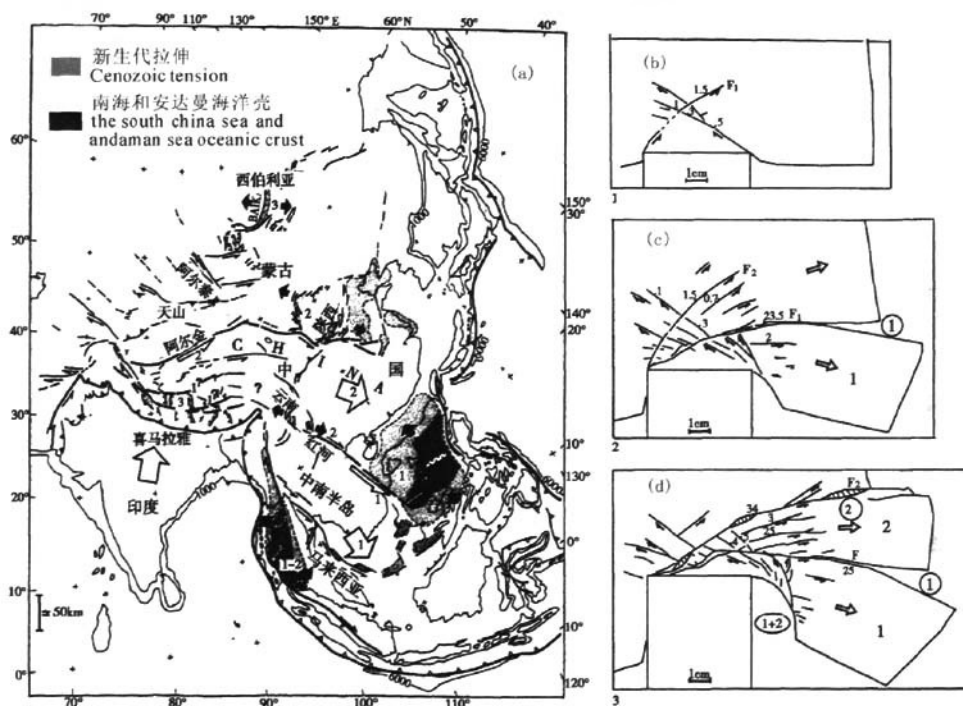


图 7 东亚新生代挤出构造和大断层纲要图(据 P.Tapponnier, 1982)

Fig. 7 Outline map of Cenozoic squeezing-out structures and major faults in East Asia (after P. Tapponnier, 1982)

a 图: 黑粗线——主要断层及板块边界; 细线——次要断层; 空心羽支——缝合带; 白箭头——主要地块相对于西伯利亚的运动方向(定性); 黑箭头——与挤出有关的拉张方向; 数字代表挤出阶段: 1—50~20 Ma, BP. 2—20~0 Ma, BP. 3——最近与将来; 断层上的箭头(在西马来西来、泰国湾及西南中国海)与现在的运动不对应。b 图: 模型试验结果。设定一个刚性体被恒速推挤进入一塑性体内, 塑性体为多层, 不能垂直增厚, 塑性体右侧设计为自由边界。所得到的塑性体变形序列。第一阶段一挤入后, 出现一左旋断层和一右旋断层, 随后又出现左旋断层 F_1 , 向自由边扩展, 并切出 1 号块体, 相当于印支地区; 第二阶段, 刚性体继续向塑性体内挤入, 出现新的右旋断层, 并切断 F_1 , 使之停止左旋, 同时又产生 F_2 , 并逐渐分出 2 号块体, 相当于华南地块。①中国南海②中国东北, 1+2 安达曼海。

Map a: Black thick lines—major faults and plate boundaries; thin lines—secondary faults; hollow feather branches—suture zones; white arrows—moving directions of major blocks relative to Siberia (quantitatively); black arrows—pull-apart directions related to squeezing-out. Numerals represent squeezing-out stages: 1—50—20Ma, BP; 2—20—0Ma, BP; 3—recent time and future. Arrows on the faults (in West Malaysia, Gulf of Thailand and Southwest China Sea) are not consistent with modern movement. Map b: Result of model test. It was set that a rigid body was pushed into a plastic body with a constant velocity, the plastic body was multi-layered and could not be thickened in the vertical direction, and the lateral part of the plastic body was designed to be the free boundary. The deformation sequence of the plastic body was obtained. At the first stage, a left-lateral fault and a right-lateral fault appeared after squeezing in, and subsequently the left-lateral fault F_1 appeared. This fault expanded towards the free boundary, and formed No. 1 block through cutting, which corresponded to the Indo-China area; At the second stage, the rigid body continuously pushed its way into the plastic body, resulting in the formation of a new right-lateral fault, which cut off F_1 and stopped it from left rotation. At the same time, F_2 appeared, and No. 2 block was gradually produced through separation, which corresponded to the South China block. ①-South China Sea; ②-Northeast China; (1+2)-Andaman Sea.

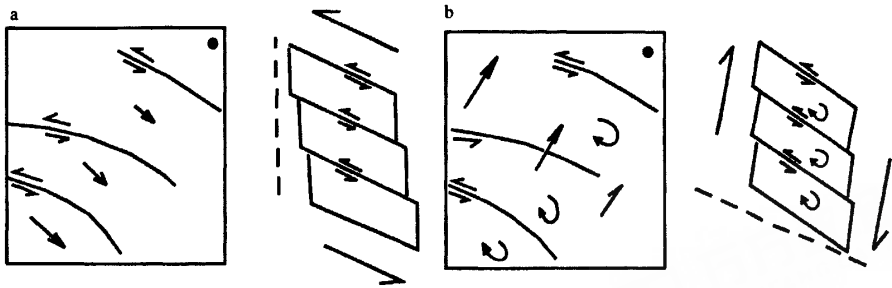
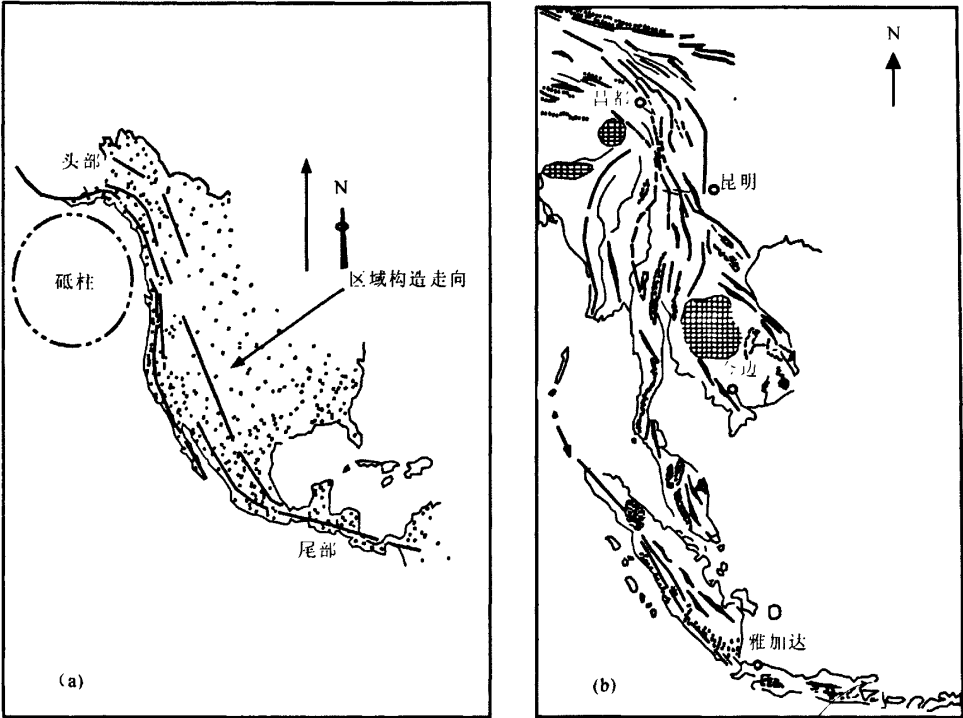


图 8 单剪切-旋转模式示意图

Fig. 8 Schematic model of single shear-rotation

a-挤出模式示意图(据 P.Tapponnier, 1976); b-单剪切-旋转模式示意图(据 P.England & P.Molnar, 1990)
a—schematic model of the squeezing-out structures (after P. Tapponnier, 1976); b—schematic model of single shear-rotation (after P. England & P. Molnar, 1990)



压扭性断裂 compresso-shear fault 张扭性断裂 tenso-shear fault 火成岩分布地区 distribution of igneous rocks
纬度构造 latitudinal structure 穹隆 dome 背斜轴 axis of anticline 向斜轴 axis of syncline

图 9 青藏滇缅印尼万字型构造示意图(据李四光, 1929)

Fig. 9 Schematic map showing Qinghai-Tibet-Yunnan-Myanmar-Indonesia eta-type structure (after Li Siguang, 1929)

1-压扭性断裂; 2-张扭性断裂; 3-背斜轴; 4-向斜轴; 5-纬度构造; 6-穹隆; 7-火成岩分布地区
1-compresso-shear fault; 2- tenso-shear fault; 3-axis of anticline; 4-axis of syncline; 5-latitudinal structure; 6-dome;
7-distribution of igneous rocks

需要像研究大陆构造体系那样, 开展对海洋地块上的构造体系的形成与演化加以研究, 海洋块体的物理性质不同, 结构不同, 受力情况不同, 构造体系也会有其特点。

(4) 关于喜马拉雅造山带的形成。李四光是这样分析的, 他说“阿尔卑斯-喀尔巴阡-高加索山脉如何由欧非大陆从南北两方面挤压而成。而高加索山脉向东南追索, 我们可以看出, 这些近东西向的山

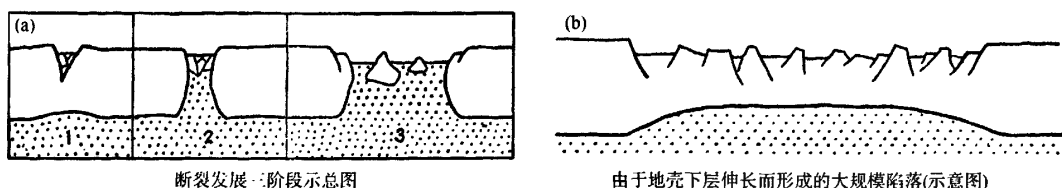


图 10 地块内断裂发展示意图
Fig. 10 Schematic map showing the development of faults within the block

脉还继续延长了很远；它们……，但主要的山脉沿藏南伸展而成喜马拉雅弧(注：位于 28° - 30° N)。……，为什么它们没有像欧洲的阿尔卑斯山那样沿纬度 45° 发育？当我们考虑到在低纬度缺乏陆地，在南半球完全没有相对应的大陆时，马上就会明白它们为什么从正常位置偏开了。……除非是依据这样的理由，即大陆越向南伸展，它对北面陆块冲击的抵抗就越大。”对喜马拉雅造山向南位移动问题，魏格纳引用了 F. 科斯特马特的话，“山脉的弯曲和出现在许多地方的扇形组合时，认为这些现象只能用巨大的水平移动来解释。”“这个观点几乎和大陆漂移学说的观点是一样的，因为只要把这个观点向前推进一小步，就可以说明喜马拉雅山是地壳的大长片经受巨大的前进冲断层而成的，它的南端(今日的印度)过去一度曾位于马达加斯加岛附近。”魏还计算出“印度的移动距离当为 3000 km 左右。”INDEPTH 计划通过多项深部探测工作完全证实以上的推测(赵文

津等，2001)。喜马拉雅山是喜马拉雅地块的结晶基底在南北双向力的压缩下向南推覆两次或三次而形成的双重构造。但是，这种构造体系与构造应力体系的形成还缺乏进一步的理论说明，还应进一步研究。

(5) 对安第斯造山问题。北美大陆的西边界和南美大陆的西边界的结构构造是什么？怎样形成的？图 4 是李四光对北美大陆西部边缘造山的解释。同南美大陆西部边缘造山成因的解释是一样的，即南北大陆因地球自转速度变化而引起的西向运动，遇到了大洋壳的抵抗而对挤成山。现在的解释是大西洋底扩张，使南、北美大陆向西运移，就像印度大陆因印度洋海底的扩张而向北运移一样；但是，在大陆的西侧，大陆壳与大洋壳的构造关系又是什么？多项地球物理深剖面结果揭示出，在大洋壳与大陆壳相会处，一部分大洋壳的物质在对挤中确实在大陆边缘对挤堆积形成了大陆增生楔体，一部分

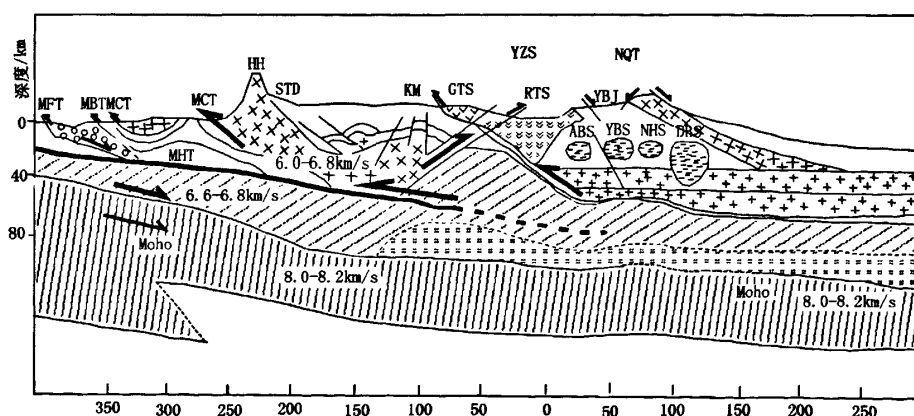


图 11 雅鲁藏布江缝合带及喜马拉雅山深部结构构造图

Fig. 11 Tectonic map showing deep tectonics of the Yarlung Zangbo River suture zone and the Himalaya Mountain
HH-高喜马拉雅结晶带；YZS-雅鲁藏布江缝合带；NQT-念青唐古拉山；YBJ-羊八井地堑；MFT-主前缘断裂；MBT-主边界断裂；MCT-主中央断裂；MHT-主喜马拉雅逆冲断裂；STD-藏南拆离系；KM-康马穹隆；GTS-冈底斯逆冲断裂系；RTS-仁布背冲断裂系；ABS-安岗亮点；YBS-羊八井亮点；NBS-念青唐古拉山亮点；DBS-当雄亮点
HH-high Himalayan crystalline rock belt；YZS-Yarlung Zangbo River suture zone；NQT-Nyainqentanglha Range；YBJ-Yangbajain graben；MFT-major frontal fault；MBT-major boundary fault；MCT-major central fault；MHT-major Himalayan thrust；STD-South Tibet segregation system；KM-Kangmar dome；GTS-Gandise thrust system；RTS-Rinbung anticlinal thrust system；ABS-Anggang hot spot；YBS-Yangbajain hot spot；NBS-Nyainqentanglha hot spot；DBS-Damxung hot spot

大洋壳将会俯冲到南美大陆之下,可能在 20-30 km 深处进入大陆的下地壳,也可能有一部分还能被带入到大陆岩石圈之下,进入了上地幔或岩石圈深部,这时大洋岩石圈将会因温度大增(可达 1000-1200℃)而爆裂。显然,上述两种解释是不同的,这是因为两者对这一主动大陆边缘的结构和构造认识上有很大不同。应当说,两者的解说时间相差 70 年,前者当时对深部结构情况了解尚少。今天虽然认识到大洋壳可以向大陆下插入,或俯冲下去,但是,也同样还存在许多不清楚的问题,如大洋壳能进入到什么深度和层位等等。见图 12(M.Schmitz 等, 1995)。注意,南美大陆的东侧则是一个被动大陆边缘,大西洋中脊的扩张与南美大陆西移的具体关系,以及东西两个边界的关系也并不清楚,很需要进一步研究探讨。还有大陆地块下的和大洋地块下的岩石圈地幔如何区分,图中 20 km 以下物质属性,从地震波速度值上是无法分辨的,也是有待解决的问题。

4 如何继承和发展地质力学?

从上述几个问题的分析,可以看出:

魏格纳的大陆漂移理论的核心思想是正确的,闪烁着真理的光辉,他当时的许多具体表述有的已过了时,但是,这并不能否定其基本内容光辉的一面;

李四光的地质力学理论的核心部分是,他肯定了魏氏的理论的正确性,并在大陆水平运动的基础上讨论了大陆构造体系的形成特点,坚持用力学分析探讨大陆的变形及其构成的多种构造体系的原则应当是肯定的,在今天也并不过时。由此可见,在地

球科学的领域内,中国也是有现代地学的光荣传统可继承的,我们应当继承自己的好传统,不要一谈就是外国的理论,外国的成果。当然,李四光对许多问题的具体论述,则可以随着地质调查资料的积累,特别是由于几十年来新技术的采用和大量深部地质地球物理和地球化学调查研究工作的开展,积累了大量新资料,将会提出新的想法和模式是正常的。我们不能要求李四光在 20 年代提出的许多看法完全适合于今天。根据新资料再作解释和补充,这是后人的责任。不应当再原封不动地用过去的语言说明今天的事实。

为了继承和发展地质力学,建议结合要研究的问题再做工作:

(1) 对李四光的原著要认真学习,学习他学术思想的精髓,即如何用力学原理和方法进行地球运动和构造变形的分析,力求力学化,量化,当然必须以地质观测到的事实为基础,约束力学分析的结果,深入探讨地壳发生运动和构造变形的机制问题。

(2) 要学习和弄清楚当今地球动力学和大陆动力学研究进展,特别是他们对构造运动和变形进行的力学分析,结论是否真有道理。

(3) 要运用现代先进的科技成果巩固和扩大地质力学的基础,特别是有关构造体系的认识。这里包括有:

① 要进一步加强对地壳构造体系的调查。除对上地壳构造变形调查外,要增加对中下地壳和上地幔的了解,并在分析上下功夫,要在构造体系生成的时代及其相互关系上深化,求证。

② 加强对主要构造体系的生成分析和利用构造模拟进行力学分析。这是深化对构造体系本质了

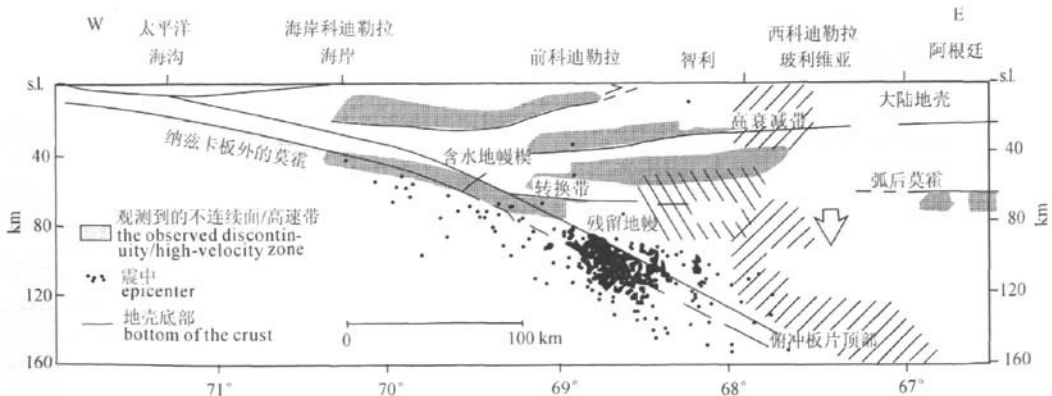


图 12 横过科迪勒拉山地球物理剖面解释

Fig. 12 Geophysical interpretation profile traversing the Cordillera Mountain

解的核心和关键性内容。对“平板梁”模型要改进, 要细化, 使之与实际更为符合。如,关于喜马拉雅造山作用, 造山是向南推进了 100 多 km, 为什么? 有无另一种解释? 高原构造体系的重新确定。这是李四光重点研究的内容。

③ 从区域褶皱和断裂分布着眼, 提出全球、大洲、大区域及小区域等不同级次的构造块体和构造体系的理论;不仅描述它, 更要探讨它形成机制, 是否真有道理。要注意不要把不同时代的构造混为一谈, 也不要将不同力场作用下形成的构造体系混为一体。

④ 造山与成盆是统一构造体系的组成部分, 要加强研究。李四光强调挤压环境, 拉张走滑条件下也可形成地陆向斜, 要探讨现代地壳下沉区的产生机制。

⑤ 关于高原的形成和演化及构造体系研究。李四光没有具体讨论这一问题。他仅仅强调了大陆壳增厚以后, 在重力均衡作用下, 会自动调整升高到相应高度。实际上这是不够的, 情况要复杂得多。

⑥ 大洋的构造体系问题。过去李四光基本上没

有论及这方面的内容, 现在大洋底调查已取得很多数据, 应当进行研究工作。大洋岩石圈的构造体系将与大陆的有所不同。大洋壳与大陆下地壳的关系如何? 后者可能是前者被改造的产物。全球三条主要的大洋中脊都是斜列的, 以北西向和北东向为主, 产生机制是什么? 李提出非洲大裂谷产生的力学机制是否适用于大洋中脊的形成机制? 大洋中脊的产生过程, 是上面先裂还是下面岩石圈地幔先裂? 大洋中脊各段运移情况不同, 为什么? 板条构造是现象而不是本质。俯冲板块倾角是有变化的, 取决于什么?

⑦ 关于两种大陆边缘结构与构造问题, 要作进一步分析, 现有的结论并不合理。

⑧ 应用于月球和火星。它们是处于行星早期演化阶段, 用地层学构造分析方法来分析其构造现象可能不适用, 要找新路子, 构造体系分析是一条路。最近曾佐勋出示的火星南北极的旋涡构造很明显, 要通过它研究火星的地壳力学性质和力的作用。同样, 月球上也会有一种新构造体系, 我们应予研究。

(4) 李四光关于地壳结构的认识是现代的。表 1

表 1 地球内部分层的结构
Table 1 Layering structure in the interior of the Earth

分 层	深度 (半径) (km)	纵波 (P) 速度 (km · s)	密度 (g/cm ³)	压力 (大致相当大气压)
地 壳 (大 陆)	海平面 (6371)	5.5	2.7	
			2.8	
			2.9	
莫霍不连续面	33 (6338)			9000
地 幔	上部	7.9-8.1	3.32	
	50 } 低速带	7.8		
	250 }	8.1		
	413 — (5958)	8.97	3.64	140000
	720 (最深地震)			270000
	984 — (5387)	11.42	4.64	382000
下 部 地 幔		13.64	5.66	
	2898 — (3473)			1368000
	速度降低	8.10	9.71	
外 核 心	4703 — (1667)		11.76	3180000
过 渡 层		10.31		
	5154 — (1216)		大约14	大约3300000
核 心		11.23		
	内 核 心		大约16	大约3600000
	6371 (中心)			

为李四光概括的地球内部分层,在研究构造变形时要考虑分层变形问题。地壳内也将以壳内的滑移面划分层。如:①大的滑移面有:上、下地壳之间,地壳与岩石圈地幔之间,岩石圈地幔与软流圈上部的低速层之间;②在上地壳之内有:盖层与结晶基底之间,盖层内有不整合面,不同岩性层之间,以及构造界面等;③魏氏和李四光过去强调的是硅铝层在硅镁层上漂移这一事实,要做具体分析,有的地方可能适用。④海底扩张是怎样带动陆块前进?

(5) 要运用多学科的研究方法。李四光提到了 8 个方面的内容,即:“应力矿物”研究;“绝对年龄”鉴定;岩组分析;模拟实验(构造物理模拟与数学模拟技术);岩石试验,以了解岩石的力学性质,(特别高温高压实验岩石学);岩层中的流变现象研究;古地磁工作(“既然认定整块大陆的转动和移动,可以由岩石磁性反映出来,那么,又怎么可以忽视它呢!”);大陆运动和海洋运动,是地壳运动的两个密不可分的部分。此外,还应当强调加强 4 个方面的工作:地应力测量技术;地热学方法;深部地球物理调查的方法技术以及深层物质采样技术,进行包体研究。这些方法技术,正是现代大陆动力学研究所常应用的。

(6) 地质力学要在应用中求发展。

当前我国正在推进工业化与城镇化,要加强能源与矿产资源的勘查工作,地质力学正可发挥大的作用。

① 构造应力场(和流体势)驱油与构造体系控制油气分布;一要查明构造体系,二要总结矿与油气具体分布,三要研究构造应力场(和流体势)与构造体系对矿产与油气的控制,不能仅仅停留在现象的描述上。现在我国已发现的岩性油气藏,其分布与构造体系的关系密切。油气的来源除有机成因外,地幔来的无机烃类也是有前景的,应重视。

② 地壳内构造动力、构造体系(包括矿田构造)与热液矿床分布——W, U, Cr 等找矿;要关注矿质的来源的问题。成矿流体上来后如何与围岩作用,并形成大型矿床的条件?还应结合成矿化学动力学研究。

③ 地震地质、构造体系与地应力作用——地震预报新思路;要发展地应力测量技术;要用多学科方法调查研究震源层的物理力学性质,受力时发生断裂的条件;研究地震地质条件,特别是发震断裂性质,圈定可能发震的断裂构造与构造体系部位的具体关系;要研究震例,分析总结地块受力与发震的关系;要研究一个地段发震后,地应力如何转移和

再聚集规律;要利用应力集中过程中产生的地质地球物理效应(类似红肿效应)开展探测;

④ 区域稳定性与安全岛的思路。应从构造体系全局考虑,哪些部位更是着力点,地质又比较薄弱,易产生构造活动,导致地壳不稳定。

⑤ 地壳运动与环境问题——冰川现象(李四光, 1956, 1996)。当前最突出的问题是,全球气候异常现象。2008 年 1 月 22 日-2 月 10 日中国南方雪灾,什么原因说不清楚,应当说,这是岩石圈、大气圈、生物圈和水圈相互作用的结果,人们不知出了什么问题,造成这样大的灾害。气象部门只能说说过程,但是原因说不清楚。有必要加强第四纪及地球气象历史演化研究。

(7) 关于力的来源和作用

① 李四光原来强调有 4 种力,即:离极力;地球自转速度变化引起的力(上下运动的力和东西向的力);重力均衡的作用;及太阳与月球引起的潮汐力等仍然是存在的。“大陆车阀”原理也是有道理的,但需要结合新的情况做深入研究。

② 板块构造理论新提出来的力:有洋壳拖曳力和软流圈拖曳力。这也不是没有问题的,应进一步有所讨论。

5 结语

李四光说“地质力学是一门边缘科学,它的一条腿站在地质学方面;另一条腿站在力学方面。反映地壳运动的一切现象,是它考察和研究对象。”“按照认识运动的过程来看,我们必须把那些对于客观存在的感性知识,在主观方面加工,精炼出理性的知识。这就需要力学出来帮助,否则地质力学只能停留在描述现象的阶段,而很难揭穿那些现象发生的内在因素。”从这一点看,李四光是当之无愧的现代地质学开拓者之一。

中央一再强调:中国科技要走自主创新之路,并指出这是“支撑一个国家崛起的筋骨。”这一论断具有深刻的战略意义,是我们研究问题的立足点。李四光开创了自己的路,这是中国人民的宝贵财富,我们要珍惜它,发展它。以上是我的学习心得,提出与大家共同研究,欢迎多多提出意见。

参考文献:

- 怀利 P.J. 1980. 地球是怎样活动的[M]. 北京:地质出版社.
- 李立文. 1992. 魏格纳学说与大陆漂移理论在我国的传布[M]. 中外地质科学交流史, 北京:石油工业出版社.
- 李四光. 1926. 地球表面形象变迁之主因[M]. 李四光全集. 武汉:

湖北人民出版社, 1996, V.4, 1-80, 437-487.

李四光. 1931. 地壳的观念[A]. 李四光全集. 武汉: 湖北人民出版社, 1996, V.7, 110-143.

李四光. 1939. 大陆漂移[C]. 区域地质构造分析. 北京: 科学出版社, 1974.

李四光. 1956. 地壳运动问题[A]. 李四光全集. 武汉: 湖北人民出版社, 1996, V.4, 864.

李四光. 1965. 地质力学发展过程和当前的任务[C]. 地质力学方法. 北京: 科学出版社, 1979, 247-260.

李四光. 1970. 天文地质古生物资料摘要(初稿)[A]. 李四光全集. 武汉: 湖北人民出版社, 1996, V.8, 599-614.

李四光. 1973. 地质力学概论[A]. 李四光全集. 武汉: 湖北人民出版社, 1996, V.5, 343.

魏格纳. 2006. 海陆的起源[M]. 北京: 北京大学出版社.

References:

LI Li-wen. 1992. Wegener's hypothesis and propagation of the continental drift theory, The History of the Exchange of geosciences between China and foreign countries[M]. Beijing: Petroleum Industry Publishing House(in Chinese).

LI Si-guang. 1926. The main reason for the changes of the earth's surficial landscape[M]. The Complete Works of Li Si-guang, Wuhan: Hubei People's Publishing House, 1996, Vol. 4, pp. 1-80 or pp. 437-487(in Chinese).

LI Si-guang. 1931. The concept of the crust[A]. The Complete Works of Li Siguang. Wuhan: Hubei People's Publishing House, 1996, Vol. 7, pp. 110-143(in Chinese).

LI Si-guang. 1939. Continental drift[C]. An Analysis of Regional Geological Tectonics. Beijing: Science Press, 1974(in Chinese).

LI Si-guang. 1956. The problem of the crust movement[A]. The Complete Works of Li Si-guang, Wuhan: Hubei People's Publishing House, 1996, Vol. 4, p. 864(in Chinese).

LI Si-guang. 1965. The development process and current tasks of geomechanics[C]. Geomechanic method. Beijing: Science Press, 1979, 247-260(in Chinese).

LI Si-guang. 1970. Abstracts of materials of astronomy, geology and palaeontology (drift)[A]. The Complete Works of Li Siguang, Wuhan: Hubei People's Publishing House, 1996, Vol. 8, pp. 599-614(in Chinese).

LI Si-guang. 1973. The outline of geomechanics[A]. The Complete Works of Li Si-guang. Wuhan: Hubei People's Publishing House, 1996, Vol. 5, p. 343(in Chinese).

ROBERT A Phinney, POUL Silver, ART Lerner-Larn, JEFFREY Park, RICHARD Carson. 1993. A National Program for Research in Continental Dynamics[M]. Published by the IRIS Consortium.

SCHMITZ M, ARANEDA M, FORSTE K, GIESE P, LESSEL K, SCHULZE A, WIGGER P J. 1995. Aktive Seismik imm Rahmen von PISCO 94

WEGENER. 2006. The origin of sea and continent[M]. Beijing: Peking University Press(in Chinese).

WILEY P J. 1980. How the earth moves[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).