文章编号：1006-6616（2016）04-1062-05

地球系统科学的先驱——李四光

李东旭[1]，龙长兴[2]
（1. 中国地质大学，北京 100083；
2. 中国地质科学院地质力学研究所，北京 100081）

摘　要：地球系统科学从 20 世纪 80 年代蓬勃兴起。国内外学者普遍认为地球系统科学（Earth System Science）概念是由美国国家航空航天局（NASA）1983 年首次正式提出。然而如果我们重温李四光先生遗著，则不难发现早在 20 世纪 20—30 年代他就已将系统论引入地质学，提出了诸如构造系统（tectonic system）、大陆车阀说、海水进退规程等等新概念；1970 年在他临终前出版的《天文·地质·古生物》，还将地球系统科学研究内容进一步扩大。可以说，系统科学思想贯彻在他的一生论著中，说明我国杰出地质学家李四光才是真正地球系统科学的先驱。李四光先生有诸多超前思维值得传承，他创建的“地质力学”的内容就是现代“系统构造地质学”加“地球系统科学”。

关键词：系统科学；地球系统科学；系统构造地质学；地质力学；地球表层学
中图分类号：N949；P55；P54　　**文献标识码**：A

20 世纪 80 年代以来，以系统论为前导和基础的地球系统科学蓬勃兴起。国内外学者普遍认为，系统论是美籍澳人冯·贝塔朗菲[1]在 20 世纪 20—30 年代从生物学中首次提出，地球系统科学（Earth System Sciences）概念[2]是美国国家航空航天局（NASA）1983 年首次正式提出。1983 年钱学森倡议创立“地球表层学”，1990 年钱学森还提出开放复杂巨系统（Open Complex Giant Systems）概念[3]。但是，当我们认真查阅李四光从 1920 至 1971 年的一系列论著和谈话记录，并与当今地球系统科学研究内容进行比较，将会惊讶地发现，系统论思想充满李四光论著中。按照现今学科分类，70 年前（1945 年）他所创建的《地质力学》新学科，实际上涵盖了现今系统科学两方面内容：一是《系统构造地质学》，一是《地球系统科学》，前者也可包容于后者之中。因此我们说李四光不仅是“系统构造地质学”和“地球系统科学”之先驱，也应是系统论的先驱。因为他提出的系统科学理念几乎与冯·贝塔朗菲是同时的，只不过一个是从生物学提出，一个是从地质学提出。这是不容忽视的历史事实，作为中国地质学家不仅应引为自豪，还应发扬传承。遗憾的是到目前为止国内已发表有关地球系统科学的论著鲜有提到李四光的贡献，究其原因可能是对于李四光先生的成就缺少了解，特此撰文，以示读者。

收稿日期：2016-09-28
作者简介：李东旭（1933-），男，长期从事构造地质学、地质力学教学与科研。E-mail：dxlee18@126.com

1　早期地球系统问题的探索

早期地球系统问题的探索可以 1926—1929 年发表的《地球表面形象变迁之主因》[4]、《古生代以后大陆上海水进退的规程》[5]、《东亚一些构造型式及其对大陆运动问题的意义》[6]三篇名著为代表。

在《地球表面形象变迁之主因》一文伊始，李四光就明确表明系统论观点，他尖锐指出："我们不能不承认大多数地质学家似乎是见树不见林（We cannot but admit that most geologists seem to have lost sight of the forest because of the trees）。"他将各大陆构造单元归纳为构造系统置于全球地理坐标系中，依据构造单元组合的应变图像方位及几何图像对应的构造应力场，进而追索动力来源于地球自转速率的变化产生的经向和纬向惯性离心力，地球自转速率变化服从于角动量守恒定律（$\omega I = C$），即"大陆车阀说"理论依据，从而架起了构造系统与地球动力学之间的桥梁。在《古生代以后大陆上海水进退规程》[5]一文中，提出石炭—二叠纪地层在我国北方以陆相地层为主，间夹少量海相地层；在南方以海相地层为主，间夹少量陆相地层，并以此为据，上升到水圈与岩石圈相对运动与地球自转速率变化的关系。在这组文章中还涉及到地壳（岩石圈）与壳下（重圈）的关系。他说："如果我们看一看遥远的过去，……，应该明确认识到在任一广阔的古地理变迁中，至少包括 4 个重要因素，它们是壳下层、海洋、大陆和陆缘海。""还可以作另外一些有深远意义的理论推导，诸如古山脉的走向、气候旋回的时间分布、火成（岩浆）活动的时期、生物群的迁徙等等，但这样会大大地扩大我们讨论的范围。"从以上节录的两段原文不难看出，李四光早在 20 世纪 20 年代就已经把地球作为一个整体，研究岩石圈与水圈、气圈、生物圈以及壳下层之间的关系。事实上，当时他对第四纪冰川鉴定和分期（气圈）、古生物蜓科化石的演化（生物圈）的研究也取得了出色成果。第四纪冰川研究不仅是气候冷热变化，同时也与海面变化、海岸线的变动、海水进退相关。在冰期，海水量显著减少，而间冰期海水量增多。他还说"第四纪生物群的分布和兴替，猿人生存的时期，以及它们生活的环境与冰川作用可能存在着关系，极为复杂。"由此不难看出，李四光先生早在数十年前的研究，已经明显地体现出地球系统科学思路。

2　创建以构造系统为核心的地质力学

以《地质力学之基础与方法》（1945）[7]、《地质构造三重基本概念》（1954）[8]、《地质力学概论》（1962）[9]为代表。这个时期他主要致力于地壳（岩石圈）构造系统化研究。在《地质力学之基础与方法》一书中提出两大重要理论：一是构造应力场理论，通过场的概念将局部小构造与大区域构造有机联系起来，他称之为"成生联系"（genetic relation），从而奠定了构造体系的力学理论基础；其二是流变学概念，以一个小小的弯曲冰川砾石揭示出庞大的地壳（岩石圈）是如何通过漫长的历史蠕变过程形成造山的奥秘，这一理论直到 50 年以后才被国内外构造学者重视，但是他们多已忘记了李四光早年的启蒙。《地质力学概论》一书突出特点是赋予构造体系（structural system 或 tectonic system）以严密的定义，强调同一场构造运动形成的"构造体系是由不同形态、不同性质、不同等级和不同序次，但具有成生联系（genetic relation）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

块组合而成的整体。”这个定义与一般系统论定义基本一致，体现了整体性、相关性、有序性、动态性；同时他将（地质力学研究）构造体系的厘定分为 7 个步骤，实际上就是将构造地质研究“系统工程化”，将构造体系几何（学）图像和形成边界条件（动力学）模式化，即构造型式（tectonic type），从而便于仿真模拟验证。现在看来这部著作相当于固体地壳（岩石圈）的“系统构造地质学”，它侧重于构造现象之间成生联系的研究，即同生（伴生）、派生、叠加（复合）关系的解析，而不是孤立地描述个别构造要素的特征。这套地质力学思路与当今国内外流行的构造地质学教科书和诸多学说相比较，无论从理论上、方法上和实用上，它仍然是先进的、超前的。

科学理论越接近客观规律，其应用领域就越广阔，解决实际问题的潜力就越大。地质力学在人类活动中具有广泛实用性和可操作性，从找矿、勘探到开发每一环节都与构造体系及现代活动构造应力场相关。他提出的活动构造应力场新概念和地应力测量方法，不仅与地震活动和地震预报密切相关，而且成为研究其他地质灾害（滑坡、岩爆等）、地壳稳定性（“安全岛”）的理论基础。有关地质力学在石油天然气、煤炭、各类金属矿寻找、勘探开发的应用，及有关灾害地质、地震预报各方面成就，多有报道，不赘述，这里仅补充一点鲜为人知的重要思想。在他逝世前一年（1970 年）关于地热讲话有 10 多次。他指出：“地下热能的开发与利用是个大事情，这件事，就像人类发现煤炭、油气可以燃烧一样，这是人类历史上开辟的一个新能源。地球是一个庞大的热库，有源源不绝的热流。地质工作者和地球物理工作者至今对这个极为重要的问题还没有进行全面的调查研究，让这个随地可取的能量为人类的生活和生产服务。”他在亲自指导湖北沙市、天津、北京等地地热工作的基础上提出我国高中低温地热并重、综合利用的指导方针。笔者（之一）还亲自听他讲到：“从高空看大城市（东京、洛杉矶）是个大烟罩，把大量煤炭运到城市燃烧发电、取暖，既浪费了宝贵的煤炭，又污染了环境。子孙后代会骂我们愚蠢，为什么不就地取材，充分利用洁净的地下热能呢?”“从战备考虑，如果普遍利用地热‘小土群’发电，形成打不垮的电网，远比搞大水电站安全。”这些话虽然没有完整的文字记载，但给笔者留下深刻印象。由此还可看出李四光先生早在 1970 年就考虑到环境污染问题，也即今日的雾霾的根源。

3 《天文、地质、古生物》——广义地球系统科学的提出

李四光先生晚年（1969—1970 年）推出了《天文·地质·古生物(资料摘要)》[10]一书，在该书中他将地球系统科学导入浩瀚的宇宙，强调地球不是孤立的，是浩瀚宇宙中一颗渺小的星体，是太阳系的一个成员，或说是日地月系统，月球与地球之间的潮汐与朔望，太阳的黑子与磁暴都对地球有影响，进而探讨银河系对太阳系的影响，以此说明地球系统是个开放的、复杂的巨系统中的一个成员，从宇宙看地球要进行多层次研究。在这部著作中还首次将地球系统与生物圈和气圈演化联系起来。岩石圈记载了地壳上下各圈层（子系统）多元信息，是个复杂大系统，需要研究者具有广博的知识、整体系统观、进行综合解析，才能查明各圈层之间的相互关系。而地球又是宇宙世界中的一个小小小成员，在那个复杂系统中受到什么影响，又是一个天文学的研究问题。总而言之，地球系统科学是一个非常复杂的大课题，需要多学科合作。近些年来，地球系统科学受到广泛关注，国内有些研究部门成立了地球系统科学研究室，个别大学成立了地球系统科学系，国内已召开了 4 次全国性学术会议，期望地球系统科学工作者不要忘记李四光留给我们的宝贵科学遗产。

4　李四光地球系统科学思维的先进性

综上所述，不难看出李四光一生的著述处处闪耀着系统科学的整体观、全局观。他所创建的地质力学新学科的核心理论就是构造体系（tectonic system），如果说系统论先进的话，那么至今在国内外诸多构造学说、学派和构造地质教科书中还未见有更明确的构造系统理论和系统工作方法，说明李四光创建的地质力学至今并未失去其先进性，至今仍是超前的理论。遗憾的是，国内的部分构造学家忙于向西方“接轨”，忽视了我们自己的前辈为地球系统科学所做的贡献。

从李四光一生论述中还可看出，他所研究的不仅仅局限于地壳的构造系统，而是广泛涉及到地球的各个圈层（子系统）以及它们之间的相关关系，具有一系列超越时代的创新思考。究其内容实质而言，与当今研讨的地球系统科学思路基本一致，而时间则超前几十年，因此说李四光是地球系统科学的先驱是符合历史事实的。最近我们拜读了《未来 10 年（2010—2020）中国学科发展战略：地球科学分册》之“第三章地质学”和“第六章地球系统科学”，其中关于“地球系统概念的提出”一段写道：“20 世纪 70 年代 G W Paltridge 提出的气候系统概念（Paltridge，1975），包含大气圈、水圈、岩石圈、冰雪圈和生物圈五大圈层以及圈层之间的相互作用，这可以说是地球系统概念的雏形……。”然后就是美国的 NASA（见前），文中未提及李四光早年的卓越贡献，实属遗憾！李四光关于地球系统科学的思想及诸多理论创新，可谓博大精深，意义深远，为我国地质事业做出了重要贡献。他的地质思维比国外超前几十年，仅构造体系理论而言，多数构造地质学家至今仍未真正领会。所以，认真研读李四光的科学论著，领悟其精髓，不仅是实事求是客观评述地学发展史的需要，也是推动和引领地学发展创新的需要。

参　考　文　献

[1] 冯·贝塔朗菲. 一般系统论：基础、发展和应用［M］. 林康义，译. 北京：清华大学出版社，1987.
Bertaianffy L V. General system theory：Foundations，development，applications［M］. LIN Kang-yi，Translated. Beijing：Tsinghua University Press，1987.

[2] 国家自然科学基金委员会，中国科学院. 未来 10 年中国学科发展战略：地球科学［M］. 北京：科学出版社，2012：83-112，235-296.
National Natural Science Foundation of China，Chinese Academy of Sciences. Chinese discipline development strategy in the next 10 years：Earth sciences［M］. Beijing：Science Press，2012：83-112，235-296.

[3] 钱学森. 论系统工程［M］. 长沙：湖南科学技术出版社，1988.
QIAN Xue-sen. Discussion on system engineering［M］. Changsha：Hunan Science and Technology Press，1988.

[4] 李四光. 地球表面形象变迁之主因［J］. 中国地质学会誌，1926，5（3/4）：209-262.
LI Si-guang. The main reasons for the changes of the form of the earth surface［J］. Journal of the Geological Society of China，1926，5（3/4）：209-262.

[5] 李四光. 古生代以后大陆上海水进退的规程［J］. 中国地质学会誌，1928，7（1）：81-123.
LI Si-guang. The canon of marine transgression in post-Paleozoic times［J］. Journal of the Geological Society of China，1928，7（1）：81-123.

[6] 李四光. 东亚一些构造型式及其对大陆运动问题的意义［C］//地质力学方法. 北京：科学出版社，1976：65-112.
LI Si-guang. Some typical tectonic patterns in East Asia and their implications for continental movement［C］//

Geomechanics. Beijing: Science Press, 1976: 65-112.
[7] 李四光. 地质力学之基础与方法 [M]. 北京: 中华书局, 1947.
LI Si-guang. Foundations and methods of geomechanics [M]. Beijing: Zhonghua Book Company, 1947.
[8] 李四光. 关于地质构造的三重基本概念 [J]. 科学通报, 1953, (11).
LI Si-guang. Three basic concepts of geological structure [J]. Science Bulletin, 1953, (11).
[9] 李四光. 地质力学概论 [M]. 北京: 科学出版社, 1962.
LI Si-guang. Introduction to geomechanics [M]. Beijing: Science Press, 1962.
[10] 李四光. 天文、地质、古生物 (资料摘要, 初稿) [M]. 北京: 科学出版社, 1972.
LI Si-guang. Astronomy, geology, and paleontology [M]. Beijing: Science Press, 1972.
[11] 李四光. 地震地质 [M]. 北京: 科学出版社, 1973.
LI Si-guang. Seismic geology [M]. Beijing: Science Press, 1973.
[12] 李东旭. 地质力学与系统论 [J]. 地球科学, 1989, 13 (增刊): 17-24.
LI Dong-xu. Geomechanics and system theory [J]. Earth Science, 1989, 13 (Suppl.): 17-24.
[13] 李东旭. 李四光的系统科学观 [J]. 地质学史论丛, 2014, (6): 282-287.
LI Dong-xu. Li Siguang's view of system science [J]. The History of Geology, 2014, (6): 282-287.

J. S. LEE: EARTH SYSTEM SCIENCE PIONEER

LI Dong-xu[1], LONG Chang-xing[2]
(1. *China University of Geosciences*, *Beijing* 100083, *China*;
2. *Institute of Geomechanics*, *Chinese Academy of Geological Sciences*, *Beijing* 100081, *China*)

Abstract: J. S. Lee's research on Earth System Science and structural geology are reviewed. As a field, Earth System Science was established by the 1980's. It is generally believed that this idea was first proposed by NASA. However if we look at J. S. Lee's early works during the 1920's to 1930's, we find that he had already started using the ideas of earth systems: tectonics, continental brake hypothesis, transgression-regression theory, etc. His "Astronomy, geology, and Paleontology" published in 1970 exemplified the ideas of Earth System Science. As another example, "Geomechanics" can be considered as the combination of structural geology, and Earth System Science and confirms J. S. Lee as a pioneer and innovator in this field. As earth system scientists in China we should cherish and further develop this legacy.

Key words: system science; earth system science; systematic structural geology; geological mechanics; earth surface science