

D Q K X X T

G H F F L

地球科学系统观



和方法论

郝东恒 著
白 屯

中国地质大学出版社

作者简介

郝东恒：男，1954年生，毕业于武汉地质学院金属与非金属矿产地质专业，后获华中理工大学哲学硕士学位。现任石家庄经济学院党委副书记、副教授。主要研究领域为哲学科学技术和思想政治教育，其中一项研究成果获省级二等奖。近年在有关刊物上发表论文30余篇，其中一篇荣获1996年度河北省教育系统理论研究优秀论文一等奖；另一篇荣获1997年全国地矿系统院校理论研究优秀论文一等奖；有关论文被《中国社会科学文库》和《中国跨世纪改革发展文献》等收编。

白 屯：男，1955年生，毕业于吉林大学哲学系自然辩证法专业，并获哲学硕士学位。现为河北工业大学社科部副教授。以地学哲学为主要研究方向，先后出版了《地学思维论纲》等学术专著和教材6部(含参编)，发表论文50余篇，获省级以上奖励4项。

序

由郝东恒等同志撰写的《地球科学系统观和方法论》涉及到一个很重要的课题：用系统科学的理论和方法去研究地球和地学问题。地球是一个复杂巨系统，而且充满了“不解之谜”，至少很多重大问题并没有很完满的答案或得到很好的解释，更不要说得到彻底的解决和一致的认识了。著名俄罗斯地质学家 V. E. 哈茵在《现代地质学的基本问题（世纪之交的地质学）》一书中提出了“地球行星起源”、“地球的最原始地壳：可能成分及形成方式”、“灰色片麻岩与大陆诞生”、“地球生命起源”、“首次泛大陆形成及泛古洋发生，地球不对称原因”、“板块构造何时及如何开始”、“花岗岩起源”、“世界大洋形成与时代”、“大冰期次数及原因”、“前寒武纪与显生宙之交生物大爆炸可能原因”、“生物大绝灭与生物大复苏原因：地球抑或宇宙原因”、“地质过程及有机界演化的连续性与渐进性（渐变论）及间断性与跳跃性（间断论）”、“地球演化方向性与旋回性”、“地壳与岩石圈分维性、线性构造及全球构造网，地球构造格架规律性是否存在”、“环形构造由来”、“深部地质过程能量来源”、“地球是膨胀抑或收缩”、“地球与宇宙：宇宙过程对地球演化影响”、“地球的唯一性”以及“灵生地质学：未来的地质学”等若干理论地质学问题至今都未能得到很好地解决，至少是未能以足够令人信服的形式给以解决。这还未包括一些专业性很强的问题：诸如地球磁场倒转问题；碱性岩浆岩起因问题以及地震预报、成矿预测等等问题。哈茵在该书前言的眉页上引用了 C. 莫埃姆的一句话：“我可以确信无疑的只有一点，那就是世界上很少有能确信无疑地加以论证的问题”来强调地学问题的复杂性。

地球科学问题之所以复杂，其所以至今存在着很多争论，原因是多方面的。比如地球物质运动的多样性和复杂性、地质作用过程的长期性和叠加性、各种地质产物的变异性和非均质性等等，但非常重要的一个原因是地质作用或地质产物所涉及的范围都很广，相关因素都很多，而且层次结构复杂，过程性质多变，一般是不可重复、不可再现、不可逆转和难于直接观测的。利用简单的随机模型、确定模型、线性模型都是难以全面概括、正确认识和合理解释的。显然，对这样复杂的对象，需要应用系统理论与方法、非线性理论与方法才有可能逐步接近问题的本质和逐渐获得正确的认识。由于系统理论和非线性理论本身还有待完善，而其在地质领域的应用则更需多方面实践才能取得良好结果，所以这是摆在广大地质工作者面前的一项新课题。

本书作者从马克思主义哲学立场出发，运用现代系统观点，阐述了把地球作为复杂巨系统进行研究的可能性和必要性，分别介绍和评述了古代、近代、现代地球科学系统观和方法论，概述了地球科学系统观和方法论的特点，提出了建立和发展系统科学的构想，并对地球各层圈的耦合作用、天地生综合研究、建立行星地球统一理论、地球科学思维等问题进行了阐述和探讨。

本书是对“地球科学系统观和方法论”方面的一次有益尝试。我们欢迎有更多这方面的研究成果问世，它必将推动这一重要学术领域的发展，从而有助于整个地球科学的发展。

中国科学院院士

中国地质大学校长

全国政协委员

 教授

前 言

从某种意义上讲,“地球科学”本身就是一个极富时代特色的话题。我们今天把地球科学看作是研究地球系统运动和发展规律的科学,得到这样的认识是地球科学和地学哲学共同进步的结果。

现代地球科学是以复杂巨系统——地球为研究对象,以分析和处理复杂巨系统的有效武器——系统论为观念指导,以科学技术和哲学的全面发展为支撑而发展的。现代地球科学所面对的地球客体决不是近代或更早期的那个地球,它是具有复杂的层次结构,具有稳定性和变动性、均一性和非均一性、聚能性和耗能性,以及自然属性与社会属性等特征的运动整体。认识到地球客体今天的面貌,至少表明了两点:一是地球科学大踏步前进了。地球科学在现代表现出的对象与功能的多样化、过程性学科属性、研究方法和手段的现代化与多样化,以及其“人化”发展的必然趋势等等,都有力地支持了人类对现代地球客体的认识。二是地球科学的哲学思维大踏步前进了。地球科学观的一次次革命,使得人们清楚地意识到,伴随着认识地球的手段和工具的日益进步,人们对越来越复杂的研究对象——地球的认识也越来越深化。同时,人们也认识到,进一步深化地学研究,就更需要先进的理论。因此,哲学层次的地学系统观呼之欲出,地学系统观经历了几个不同的发展阶段,达到了现代程度,它把系统性和整体性当作自己的基本形式,把多样性与统一性的辩证综合当作自己的核心问题,而把动态性和可持续性当作自己发展的模式,并最终将理论的进步和实践的发展当作自己发展的动力。系统观与方法论是统一的,用地学系统观的眼光看待今日地学的方法论,则至少可划分出地学的部分与整体的研究方法、静态与

动态的研究方法、结构与功能的研究方法。然而，这样的划分又是相对的、有条件的，地学方法论最终将与地学系统观一道出现在现代地球科学研究的具体实践中。

呈现在读者面前的这部《地球科学系统观和方法论》，正是按照以上的基本思路而展开的。在写作过程中，我们特别注意了以下几点：

第一，坚持辩证唯物主义的认识路线，从地球系统的基本特征出发，确定科学和哲学观点，并力图将其放到地学认识和地学实践的过程中去检验。

第二，坚持了系统论的基本观点，用系统论去分析认识地球、地球科学、地学观和方法论，并将地学观和方法论在系统论观点的指导下统一起来。

第三，力求以当代最新的科学（包括地球科学）和哲学成果为基本依据，建立全书的理论框架和体系。

本书是一部地学哲学的理论专著，它所涉及的内容和范围非常丰富和广泛，其中有些问题或看法，特别是一些重大理论问题还有待进一步讨论，且所用资料难免不够充分，加之作者在这方面的学习和认识上的欠缺，以及时间方面的原因，使得这部书难免有所疏漏和不妥，为此，真诚期望读者提出宝贵意见。

作 者

1997 年冬于石家庄经济学院

目 录

第一章 以复杂巨系统——地球为研究对象的现代地球科学···	(1)
第一节 人类面对的地球·····	(1)
第二节 现代地球科学·····	(18)
第三节 处于当代经济、科学和社会整体发展中的现代地球科学·····	(30)
第二章 地球科学的系统观·····	(44)
第一节 从简单系统的认识到复杂系统的认识——地学系统观形成的必然趋势·····	(44)
第二节 地学系统观的基本内容·····	(60)
第三节 地学系统观演变的动力·····	(78)
第三章 地球科学的方法论及其发展趋势·····	(86)
第一节 地球科学整体与部分研究方法·····	(89)
第二节 地球科学静态与动态研究方法·····	(102)
第三节 地球科学结构与功能研究方法·····	(120)
第四节 现代地球科学研究方法的发展趋势·····	(137)
第四章 现代地学系统观与方法论的统一·····	(148)
第一节 现代地学思维方法的重要特征——系统思维·····	(148)
第二节 用系统观研究地球各层圈耦合作用的可能性和现实性·····	(161)
第三节 建立和发展系统地球科学·····	(166)
主要参考文献·····	(182)
后 记·····	(183)

第一章 以复杂巨系统——地球为研究对象的现代地球科学

地球是人类的母亲，人类在它的怀抱中逐渐成长，并了解了它的诞生和发展过程及其基本特征，从而创立了认识地球的科学——地球科学。地球科学经历了长期的发展过程后，展示在现代人面前的是一门全新的关于地球这个复杂巨系统的学问，它与当代社会经济、政治、科技、文化等有着十分密切的联系。

人们通常根据组成系统的子系统及其种类的多少和它们之间关联的复杂程度，将系统分为简单系统、简单巨系统和复杂巨系统。当一个系统的子系统种类很多，它们之间的关联又很复杂，并且具有多种层次结构，这些层次结构又不断与其他层次结构进行着物质、能量和信息的交换，就将此系统称为开放的复杂巨系统^①。地球正是这样一个开放的复杂巨系统。

第一节 人类面对的地球

现代地球科学的发展使人们在以下的说法上达到了共识，即 20 世纪最伟大的发现之一是认识到地球是一个极其复杂的巨系统。这是继近代哥白尼的“日心说”取代了托勒密的“地心说”之后，人类关于地球认识的又一次重大飞跃。这次飞跃使人们的认识再次超越了流行于本世纪中叶以前关于“地球只不过是太阳系的一个普通行星”的范围，而发展到认为地球不仅是一颗与其他星球不同的、具有多重特质和功能的特殊星球，而且其复杂性和它所具有的多种功能还远远没有被人们所认识到。

^① 陈其荣：《自然辩证法导论》，复旦大学出版社，1996 年，第 480 页。

一、地球的起源和发展

地球是太阳系中围绕太阳旋转的九大行星之一，太阳系又是银河系中的一员，宇宙则是由无数像银河系甚至更大的星系所组成的。地球等行星绕太阳旋转，太阳又在银河系内按一定轨道运转，银河系也在宇宙中有规律地运动发展着。宇宙在空间上没有中心、没有边界，是无限的；在时间上无始无终，也是无限的。

德国哲学家康德于 1755 年、法国天文学家拉普拉斯于 1796 年各自提出了天体起源的“星云说”，打破了天地万物一成不变的僵化的自然观和借助天体以外的某种推动力在瞬间造成宇宙的形而上学的宇宙观，对自然科学特别是地球的起源、哲学的发展产生了重大影响。随着科学技术的发展，200 年来，先后产生了 40 多种关于太阳系起源和演化的学说。这些学说主要可分为“灾变说”和“星云说”两类，前者如“爆炸说”、“遭遇说”、“碰撞说”、“潮汐说”、“俘获说”等，这些假说的共同特点是设想原始太阳先存在，太阳突然发生大爆炸或由于“碰巧的偶然”使太阳与某种巨大的天体相遇、相碰或接近，而从太阳中分离出一系列行星，俘获星际间物质而形成太阳系；后者即“星云说”认为太阳系是由稀薄的原子或离子状态的大气凝聚而成的，其中 99% 为氢、氦一类的轻元素，这部分原始星云的中心由于自身吸引作用而凝聚、压缩，使氢和氦的密度加大，温度升高，在大约 60 亿年前其中心部分形成原始的太阳，在太阳的引力和旋转产生的离心力作用下，太阳周围的星云在密集和冷却过程中逐渐形成一系列行星和卫星。在太阳周围的星云凝聚形成行星的过程中，不仅星云的物态发生了一定的变化，而且其原子结构也发生了很大变化，从而产生出一些新元素。在近太阳的行星中，产生了如铁、镁、硅、铝等耐热元素，在远离太阳的行星中则产生如氢、氦、硫之类的挥发元素。因此，靠近太阳的行星，一般密度大而体积小，而远离太阳的行星则相反。按距太阳由近及远的距离，太阳系九大行星的排列顺序依次是：水星、金星、地球、火星、木

星、土星、天王星、海王星、冥王星。其中在水星、金星、地球、火星云盘区内，因距太阳较近，星内温度较高，所以气物质全部挥发掉，冰物质也基本上挥发掉，剩下的绝大部分为土物质；在木星和土星云盘区内，不仅保留了全部冰物质和土物质，还保留了一部分气物质；而天王星、海王星、冥王星虽距太阳较远，星内温度较低，但其公转速度仍足以使气物质大部分逃逸掉，其主要成分是冰物质和土物质，从而出现太阳系内各行星化学成分的差异。

地球和太阳系一样，有它产生、发展和消亡的历史。60 亿年前，地球还是一团没有固定形状、没有一定体积的弥漫星云。地球从诞生到现在已走过了 46 亿年的历程，科学家预测它共有 60 亿年的寿命，也就是说它还有 14 亿年的寿命。刚分化出来的原始地球是一个接近均匀的球体，体积比现在的地球大得多，自身快速旋转，并绕太阳旋转。当时，地球的温度很低，各种物质混杂在一起，氢和氦处于气体状态，其他物质以固体微粒状存在，地球没有明显的层圈分化，也没有生物和水。后来，由于自身引力收缩和放射性元素衰变作用而释放出大量的热量，地球温度逐渐升高，使地球物质具有一定的塑性，甚至处于熔融状态。这时，在重力作用下，地球内部物质产生分异作用：密度较大的物质如铁、镍等金属元素集中在地球中心（地核），密度较小的物质如以硅铝和硅铁为主的硅酸盐物质集中在地球表层（地壳），而密度居中的超铁镁硅酸盐物质则集中在地球中部构成地幔。

根据卫星测量结果，地球的形状既不是人类早期所认识的圆球体，也不是后来根据重力测量所推论的椭圆球体，而是一个不规则的近似于梨状的“地球梨形体”。这是由于地球和月球间相互存在着引力，当地球自转时，月球的引力施于地球而引起潮汐，这种长期起潮力和地球自转产生的惯性离心力的综合作用，使地球上层物质从高纬度向赤道方向运移，逐渐演变为今天的赤道半径稍长（6 378.2km）、极半径稍短（6 356.8km）的“地球梨形体”。地球的

表面积约为 $5.1 \times 10^8 \text{ km}^2$ ，其中海洋占总面积的 70.8%，陆地占 29.2%，地球的体积约为 $1.08 \times 10^{12} \text{ km}^3$ ，平均密度为 5.517 g/cm^3 ，质量为 $5.976 \times 10^{21} \text{ t}$ 。以上充分表明，地球物质运动是改变地球物质结构和形状的决定因素。

地球是人类唯一美好的、共同的家园。它的特殊性决定了地球是到目前为止人类所发现的最适合于人类和生物生存与发展的星球。地球的特殊性包括：

第一，地球与太阳的距离较适宜。地球表面的温度为 $-33^\circ\text{C} \sim 47^\circ\text{C}$ ，平均温度为 15°C ，很适合生物的生存。与水星和金星（表面温度达 $300^\circ\text{C} \sim 430^\circ\text{C}$ ）、火星（夏季和冬季的平均温度分别为 -60°C 和 -120°C ）比较起来，地球的条件是得天独厚的。适当的地—日距离决定了地球特有的表面和深部的液态水。水是生命之源，水是参与大气—海洋—生物界—地壳和地球内部循环的最主要的物质。

第二，地球有很适宜的质量。行星质量的大小制约着大气层的浓度与厚度。设定地球的大气层为 1 个大气压^①，质量最小的类地行星即水星的大气层极为稀薄，仅有 0.003 个大气压，而质量比水星更小的月球，几乎没有大气层。大气层对行星表面气候的调节起到非常重要的作用。月球没有大气层，昼夜温度分别为 $130^\circ\text{C} \sim 150^\circ\text{C}$ 和 $-180^\circ\text{C} \sim -160^\circ\text{C}$ ，成为一个无风、无水、无声响、冷热剧变、非常干旱、无生命的“死寂”世界。而地球的 N_2 — O_2 大气层和海洋共同调节地面气候，与其他行星相比较，地球难以发生类似火星的全球性尘暴，也不会像金星的大气那样形成强酸雨。

第三，地球具有适宜的自转轴倾斜角度。地球自转轴与垂直黄道面的夹角为 $23^\circ 27'$ ，使地球南北两半球各自四季分明，气候适宜；而比较起来，金星为 177° ，直立逆行，无春夏秋冬之分；天王星为 $97^\circ 55'$ ，躺着自转逆行，南北两半球的差异很大。

① 1 个大气压 $\approx 101\,325 \text{ Pa}$ ，下同。

第四，地球表面有多层保护圈。地球外围的 N_2-O_2 大气层、臭氧层、电离层和磁层等，它们各司其职，是保护地表生物演化的多层屏障，对地球今日纷繁复杂的生物及人类的发展，对地球高度文明的发展发挥了重要的作用。

二、地球系统的特征

(一) 复杂的层次结构

1. 基本时空结构

地球系统的基本时空结构有广义与狭义之分。广义的基本时空结构是指整个地球沿时间和空间发展过程而体现的层状面貌。它包括固体地球、地球表层和地球空间三大部分。固体地球内部的主要分层(见图 1-1)，由地表到地核依次分为：①地壳，由地面至以下平均厚度 33km 处。②上地幔，地下 33~1 000km。③下地幔，地下 1 000~2 900km。④外核(液态)，地下 2 900~4 980km。⑤过渡层，地下 4 980~5 120km。⑥内核，地下 5 120~6 371km。地球表层指地面以上至 85km 高的大气层的中、低层。地球空间包括：①高层大气，即高于地表 85km 以上的大气层的高层。②磁层，起始于离地表 600~1 000km，磁层顶在向太阳一侧为 10.5 个地球半径，在背向太阳一侧可延伸到几百至一千个地球半径。

狭义的地球系统一般是指气圈、水圈、生物圈和岩石圈，也称为地球表层系统。

气圈是在地球层圈的分化过程中从内部释放的气体在地球引力作用下环绕在地表至 1.6 万公里的高空而形成的。原始气圈中没有氧，主要成分是二氧化碳、一氧化碳、甲烷、氨等，为还原大气。后来随着绿色植物光合作用的进行，吸收二氧化碳并排放大量氧气，所以逐渐形成以氮、氧、氩、二氧化碳、水蒸气为主要成分的现代大气圈。气圈总质量达 $5 \times 10^{15}t$ ，由地表向高空依次分为对流层、平流层、电离层、扩散层四个层，各层的物质成分、温度、密度、运动特性和物理化学状态都有一定的差异。气圈对地表的气候有决定性

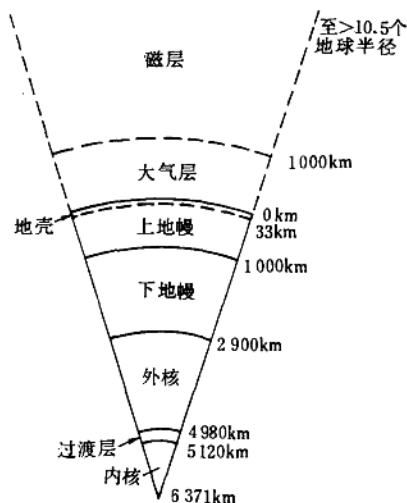


图 1-1 地球系统的结构

影响，其中对流层对地表影响最大，对流层为气圈的底层，对流层大气约占全球大气总质量的 75%，天气变化、气候变异及二氧化碳温室效应主要就发生在这一层内。

水圈是随着地球的演化发展而从气圈中分化出来的。在地球的演化过程中，随着地球温度的升高，地球物质中分离出一部分水气，火山爆发也分离出一部分水气，进入气圈后冷凝为液态水降落到地表，在原始洼地形成江河湖海，这便是原始水圈。由于河流将大量无机盐成分带入海中，增加了海水的盐分，从而使海洋的水质、水量都发生了较大的变化。现代水圈约为 14 亿 km^3 ，总质量为 $1.433 \times 10^{24} \text{ g}$ ，包括海洋、江河、湖泊、沼泽、冰川、地下水、大气中的水等，其中海水占 97.2%、冰占 2.1%、陆地水占 0.629%，还有少

量的水赋存于生物体和大气中。陆地和海洋的水是一个统一的整体，但其流动方式大不相同，受控因素也比较复杂。

岩石圈不仅包括地壳的沉积层、风化层和土壤层，而且还包括一部分上地幔，平均厚度约 70~100km。岩石圈各处厚度差别很大，大陆壳平均厚度约为 35km，而大洋壳平均厚度只有 8km；岩石圈上部和下部的物质成分也大不相同，上部是以花岗岩为主的硅铝层，下部是以玄武岩和橄榄岩为主的硅镁层。人类所需要的各种矿产资源就赋存在岩石圈内。岩石圈并非静止不动的，而是在不断运动 and 变化着的。

生物圈是囊括地球表面岩石圈上层、气圈下层及水圈的全部所有有生命存在的区域，由生物与非生物的物理化学环境组成的高度复杂的生态系统。大约在 34 亿年前，原始地壳、气圈、水圈中的碳氢化合物在太阳辐射能的影响下，经过漫长的化学变化过程，在地球上产生了原始生命，这种原始生命开始时出现于海洋，随着气圈中氧的含量的增加，生物不断进化，由海洋发展到陆地，由简单发展到复杂，逐渐形成现在有 30 多万种植物、100 多万种动物和 10 多万种微生物的丰富多采的生物圈，特别是约 300 万年前，人从动物中分化出来，使地球演化历史进入了一个崭新的阶段。

2. 开放的层次系统

系统科学告诉我们，根据系统的性质可将其分为：①孤立系统——与外界没有能量和物质交换。②封闭系统——可与温度不变的外界交换能量而不交换物质，体系温度保持恒定。③开放系统——可与外界交换能量和物质。

对于孤立系统，由热力学第二定律可知，函数熵 S 只能单调地增大，直至极大。此时系统由热力学的非平衡态变为平衡态，即 $\frac{dS}{dt} \geq 0$ （等于 0 为平衡态）。也就是说，在孤立系统中，由于熵愈来愈大，状态只能自发地从非平衡转变为平衡，从有序转变为无序，而

不可能逆转。对于封闭系统，当体系和外界同一的绝对温度足够低时，有可能形成低熵的有序平衡结构。对于开放系统，在时间间隔 dt 内，体系熵的改变 dS 应由两部分组成：

$$dS = deS = diS$$

其中 deS 为熵流，由体系与外界交换能量和物质所引起； diS 为熵产生，由体系内部的不可逆过程所引起。当熵流 deS 为负、并达到相当数量时，可以使体系的总熵减少，成为远离平衡态，从而可能出现有序的自组织的耗散结构。

地球系统只有在两种特定条件下，方可将它们视为近似的封闭系统。这两个特定条件是：一是从天体演化的尺度看今天的地球，它目前处在与外界有稳定的能量交换而物质交换可以忽略的状态；二是以短期尺度——日平均的几天和年平均的几年，并且从全球角度讨论能量平衡时，则可将地球接受太阳短波辐射和向外空放射长波辐射视为处于平衡状态。除此以外，地球在一般情况下都是一个典型的开放系统：

第一，从地球系统及其各层圈的本质来看，大气流动、海洋运动和生命过程得以存在和维持，主要依靠太阳辐射提供源源不断的能量。理论计算表明，如果失去太阳辐射，地球大气本身的能量仅能维持一个星期左右；洋流的动力主要来自大气环流底层的盛行风和热盐对流，其能源也直接、间接地来自太阳辐射；地球上一切生命过程的存在，更离不开太阳的光和热。也就是说，地球系统由于接受太阳源源不断的能量（负熵流），不断抵消地球表层的熵增加和降低系统的总熵，才能形成和维持气圈、水圈、岩石圈、生物圈自组织的有序结构。

第二，从全球来看，到达地球的太阳辐射常数实际上是变化的。1980年2月至7月由SMM卫星观测结果表明，半个月内存太阳常数可变化0.15%，全球年平均气温也从本世纪30年代末到1970年降低了0.45℃，表明全球的年平均温度也是有变化的，这隐含了地球

与外界的能量交换存在一定的差别。

第三，从南北半球来看，冬半球的太阳高度角较小，得到的太阳总辐射较少；夏半球的太阳高度角较大，得到的太阳总辐射较多。特别是在中高纬度地区，夏半年的辐射量比冬半年要多得多，如 60° 纬度带和 80° 纬度带夏半年的辐射量分别为冬半年的 4.4 倍和 41.52 倍。显然，对于冬、夏半球来说，能量收支是不平衡的。

第四，太阳辐射到地球上的能量有 36% 是被地表云层等反射到宇宙空间中去了，而到达地球表面的这部分能量在放射到太空时，又由于地表云层等的作用而被部分返回地球；另外，由于地球内部放射性元素蜕变等作用也形成流向地表和太空的热流的熵，不但决定了地球大气必然属于开放系统，而且说明此时整个地球系统处于远离平衡态。

第五，除了与外界的热量交换外，在某些时空尺度上，还存在外界对地球的动量输入，如万有引力、力矩、引潮力、电磁力等，以及与外界的物质交换，如地球历史上曾发生过的小行星和彗星撞击地球、陨石和太阳微粒辐射等。所有这些，都说明了地球系统的开放性质是鲜明的，因而将地球系统及其各层圈作为开放系统处理是必然的，也是必需的，这是深入而系统地研究地球科学的基础和前提。

（二）稳定性与变动性

1. 稳定性

地球系统的稳定性是在以下意义上而言的：一是在天体演化的尺度上，目前的地球正处在太阳系演化和地一月系统演化的相对稳定、平衡的时期；二是在地球运动过程中，由于其内部活动与稳定两种对立因素在相互作用中稳定一方占优势时出现在地球系统活动中的相对稳定的状态。

在第一种情况下，具有几种不同的表现：

第一，太阳辐射到达地球的能量比较稳定。由于太阳在其本身

的演化过程中处在成熟的“中年”时期，地球位于日地平均距离处时，地球外层大气上界垂直于太阳光的每平方厘米面积上，每分钟内所接受到的太阳辐射量是一个常数，为 $1.95\text{cal}^{①}/\text{cm}^2 \cdot \text{min}$ ，称之为太阳常数。如前所述，最近卫星观测结果表明，太阳常数是有微小变化的，所以这种稳定性是相对的。

第二，地球在太阳系中的轨道运动比较稳定。不仅地球轨道参数的变化非常规则，可以精确计算，而且地球与其他行星之间的引力作用已达到相当完美的程度。通过计算太阳系行星的三星日心会聚周期发现，木星、土星、天王星和海王星这四颗巨行星中的任意两颗行星与任意一颗较小的近日行星（地球、金星、火星、水星）的三星日心会聚周期的长度均相当精确地相等，并且与该两颗巨行星的日心会聚周期也相等（见表 1-1）。如木、土两星与地、金、火、水星中任一颗行星的三星日心会聚周期均为 $19.859\ 316\ 79\text{a}$ ，这一周期也就是木、土两星的日心会聚周期，表明在太阳系的长期演化过程中，地球和其他几颗较小的近日行星的轨道运动已被几个巨行星的引力作用调制得相当好，其运行具有很强的规律性。

在第二种状态下，地球系统各层圈的空间结构、成分、质量、能量收支、运动方式和规律等，也都处在相对稳定和平衡的状态。在地壳的不断运动和发展中，一个地区在不同的发展阶段表现出活动性与稳定性的交替出现，从而形成了所谓活动区和稳定区。所以，地壳的发展就是按照这样一个一般性规律进行的：由于内在矛盾的发展，活动区和稳定区这两个对立面之间不断地进行着斗争，按照否定之否定的法则互相转化、互相更替^②。显然，这一认识还可以在地球的其他部分找到许多实例。大气、温度、水、土壤、地表环境等

① $1\text{cal}=4.186\ 8\text{J}$ ，下同。

② 陈国达：《地壳动“定”转化递进说——论地壳发展的一般规律》，《地质学报》1959年第3期。