第一部分（第一章） 绪论

§1.1 地球科学体系及其研究任务

地球是人类赖以生存和发展的物质源泉和环境，因此人类总是把自己的命运与地球的演变和太阳等星球对地球环境的影响紧密地联系在一起。于是，人类在长期的实践中逐渐加深了对地球的认识，形成了一门以地球为研究对象的科学体系-地球科学（geo-science）。地球科学是研究地球系统并解决人类社会发展所面临的一系列重大科学问题的科学。在资源与环境问题日益突出，地球可居住性受到人们关注的今天，地球科学格外受到各国政府和科学界的重视。

§1.1.1 地球科学体系(geoscience system)

地球科学是数学、物理学、化学、天文学、地学、生物学六大基础自然科学之一。从不同角度对地球内外不同圈层和范围进行研究而形成的各个学科，则是地球科学体系的分支和组成部分。由于地球科学本身体系的复杂性，深入研究其某一部分的学科便不断形成和发展，有的则逐渐分化为相对独立的学科。与此同时，基于地球各部分之间存在的客观联系，特别是不同学科或方法的相互借鉴、交叉与渗透，逐渐形成了一些交叉或边缘学科，从而组成地球科学的一个复杂体系。大多数观点认为，地球科学包括地理学、地质学、大气科学、海洋科学、水文科学和固体地球物理学等。

一、地理学（geography）

地理学是研究地球表面自然现象、人文现象以及它们之间相互关系或区域分异的学科。所谓地球表面，即指地球的大气圈、水圈、生物圈、岩石圈和人类圈相互交接的界面。广义的地球表面，上自大气圈对流层顶部，下至岩石圈沉积岩底部，厚度为 30~35km。狭义的地球表面，则指大气圈、岩石圈、水圈的交接面，上限离地面不超过 100m，下限为太阳辐射能可达的深度，是生物和人类最为集中也最为活跃的场所。

地理学是一门既古老又年轻的学科，其漫长的发展历程可分为三个时期：即古老地理学时期（自远古至 18 世纪末）；近代地理学时期（自 19 世纪至 20 世纪 50 年代）；现代地理学时期（20 世纪 60 年代至今）。经历三个时期的延续和发展，地理学逐渐形成了众多的分支，也组成了复杂的体系。其主要分支学科目前主要包括自然地理学、人文地理学、历史地

理学、区域地理学、地图学、地名学、方志学等。20 世纪 60 年代以来，又形成了横向的理论地理学、应用性和方法性的分支学科，如理论地理学、应用地理学和数量地理学等。

需要说明的，许多研究地球表面某一圈层或某一圈层中部分要素而原属于地理学范畴的学科，现已进一步发展或与其它学科交叉渗透，从而形成了相对独立的学科，如大气科学，海洋科学等。

二、大气科学（atmospheric science）

是以地球周围的大气圈为研究对象，主要研究大气圈的组成、结构以及发生在大气圈中各种现象及其变化规律以及如何利用这些规律服务于人类的一门综合性学科。其研究内容十分广泛，包括许多分支学科和应用学科。比较成熟的主要有大气探测学、大气物理学、大气化学、天气学、动力气象学、气候学、高空气象学、动力气象学等。主要的应用学科有卫星气象学、无线电气象学、航空气象学、海洋气象学、农业气象学、林业气象学等。其目的在于揭示大气中的各种物理现象和物理过程的发生、发展本质，从而掌握并应用它为人类生活和国家经济建设服务。

大气科学也是一门既古老又年轻的学科。自从人类文明的开始，就有了古代气象经验和知识的积累，直到 16 世纪，属于大气科学的萌芽时期。17 世纪到 19 世纪，是大气科学开始在物理学基础上建立的时期。19 世纪至 20 世纪 40 年代，是大气科学主要分支学科的形成时期。20 世纪 50 年代以后，是大气科学迅速发展的时期。

三、水文科学（hydrology）

是关于地球上（江河、湖沼、冰川、地下水）水的起源、分布、循环、运动等变化规律和运用这些规律为人类服务的知识体系。水文科学研究的对象包括从陆地表面的水到地下的水，也包括从大气中的水到海洋中的水，以及对水圈同大气圈、岩石圈和生物圈等地球自然圈层的相互关系研究。现代水文科学还十分重视研究水资源的利用和人类活动对自然环境的反馈效应。水文科学按其研究对象划分为河流水文学、湖泊水文学、沼泽水文学、冰川水文学、地下水文学、气象水文学等，这些学科统称为普通水文学。与之对应的则是应用水文学，如工程水文学、农业水文学、森林水文学、都市水文学等。新技术的应用也促成了一些新的分支学科，如遥感水文学、同位素水文学和随机水文学等。

四、海洋科学（marine science）

海洋科学是以海洋作为一个独立体进行研究的，它实际上是从地球科学的其它几个分支学科中独立出来的，这是由于海洋在现代地球科学、人类生存环境和未来社会发展中的地位越来越重要的缘故。海洋科学是研究水圈海洋部分的物理、化学、生物现象的运动过程及其

发生的各种自然现象、性质和变化规律及其相互关系的各门学科的总称，根据研究内容不同可分为海洋物理学、海洋水文学、海洋化学、海洋生物学、海洋气象学和海洋地质学等。

五、固体地球物理学（solid-earth physics）

地球物理学是应用物理学的方法研究地球的一门学科，是近代发展起来的地质学与物理学相结合的一门重要边缘学科。其研究的是各种地球物理场和地球的物理性质、物理现象及其发生与发展过程、地球的内部构造与组成、地球的起源与演化等。广义的地球物理学除研究地球的固体部分外，还研究地球及其表部的水圈和周围的大气圈。但由于水圈和大气圈的研究都已建立起相应的独立学科，于是致力于研究地球固体部分宏观物理学现象的分支，便成为狭义的地球物理学，也可称之为固体地球物理学。由于固体地球物理学的问题是综合性的，所以不能完全按物理学的部门来分类。因此，相应于地下资源的勘探、自然灾害的预测、地球内部的探索和地球信息等等的研究，便形成相应的勘探地球物理学、地震预测学、地磁学、重力学、地热学、地电学、大地测量学、大地构造物理学和应用地球物理学等。其中，应用地球物理学主要是研究地球物理勘探方法及其在地球资源的勘探与开发、地球环境的监测与保护等方面的应用。

六、地质科学（geology）

地质科学是关于地球的物质组成、内部结构、外部特征、各圈层的相互作用和演变历史的知识体系。研究的主体对象也是固体地球，当前主要是研究固体地球的表层—地壳或岩石圈的物质组成、内部构造和形成演化历史。地壳或岩石圈的厚度一般为几十到二百公里左右，与地球的半径（6371km）相比只是一个很薄的表壳。这一薄壳之所以成为地质学当前研究的主要对象，一方面是出于实际需要，因为这一层与人类的生活、生产及生存都直接相关；另一方面是受现时人类能力的限制。人们可以直接观测和研究地球表层，但现阶段人类尚无能力对地下深处进行直接研究。钻井取样是目前人们获取地球较深部物质进行直接研究的唯一途径，但由于受当前技术水平的限制，钻井所能达到的深度是有限的。目前世界上最深的钻井（12.5km），位于俄罗斯西北部的科拉半岛，这一深度尚不足该区大陆地壳厚度的二分之一。可以相信，随着科学技术的发展，地质学研究的对象将不断向地球的深部（如地幔、地核）扩展。

根据研究内容和任务的不同，地质科学可划分为探讨基本事实和原理的基础学科和由这些基础学科与生产或其它学科相结合而形成的学科。属于第一类的有矿物学、岩石学、矿床地质学、地球化学、动力地质学、构造地质学、古生物学、古地理学、地貌学、地层学及第

四纪地质学等；属于第二类的石油地质学、煤田地质学、水文地质学、工程地质学、环境地质学、地震地质学等。

此外，人们为了更好地研究上述地质学的各个方面，不断地吸收和借鉴其它一些学科的先进理论、方法和技术，用以促进和深化地质学的各项研究，于是逐渐形成了一系列的边缘学科，如数学地质、地球化学、同位素地质学、天文地质学、海洋地质学、遥感地质学及实验地质学等，这些边缘学科在现代地质学各领域的研究中发挥着极其重要的作用。

近几十年来，由于世界各国工业、农业、军事、航天、交通等产业的飞速发展，其结果给地球的自然环境带来了巨大的影响。这种影响有些是直接的，如污染问题；有些是间接的，如气候变化，它已经严重地影响到地球的自然生态和人类的生存与发展，因而受到科学工作者和全人类的广泛关注。这一问题与地球科学和环境科学关系密切，于是在地球科学中逐渐形成了一门与环境科学相结合的边缘学科，即环境地学。环境地学主要研究地球自然环境的组成、结构、形成、演变以及环境的破坏、污染、防止、保护、改良与评价等。根据地球科学中各学科所研究的侧重点不同，又可分为环境地质学、环境地理学、环境气象学、环境水文学、环境海洋学、环境土壤学等。

§1.1.2 地球科学的任务（geoscience task）

地球科学的任务在于认识地球系统的基本特征和自身发展规律，揭示人类活动与地球环境相互作用的效应，从而为持续发展满足自然资源、防治和减轻自然灾害、保护和优化人类生存环境提供理论基础，为国土整治、大型工程建设及制定国家经济和社会发展规划提供基础知识和资料，为探索地球与天体起源、生命与人类起源、人与环境相互关系等重大基础理论问题提供科学依据。

§1.2 地球科学的研究方法

由于地球科学以庞大的地球作为研究对象，并且具有很强的实践性和应用性，因此，它的研究方法与其它自然科学有着较大的差异。一是它要借助于数学、物理、化学、生物学及天文学的研究方法，二是地球科学的研究方法与其研究对象的特点关系密切，具有自己的特殊性。

§1.2.1 地球科学的特点（geoscience characteristics）

地球作为其研究对象，主要有以下特点。

一、空间的广泛性与微观性（spatial universality and microcosmic）

地球是一个庞大的物体，其周长超过 4 万 km，表面积超过 5 亿 km^2。因此，无论是研究大气圈、水圈、生物圈以及固体地球，其空间都是十分广大的。这样一个巨大的空间及物体本身是由不同尺度或规模的空间和物体所组成的。因此，要研究庞大的地球，就必须研究不同尺度或规模的空间及其物质体，特别是要注重研究微观的空间和物质特征，如不同学科都要研究其相应对象的化学成分、化学元素的特性等，地质学要研究矿物晶体结构，大气科学要研究大气的组成、运动以及种类繁多相互叠加的各种现象等。只有把不同时空尺度的研究结合起来，把宏观和微观结合起来，才能获得正确的和规律性的认识。

二、整体性与差异性（integrity and difference）

整个地球是一个有机的整体。不仅在空间上地球的内部圈层、外部圈层都表现为连续的整体性，而且地球的各内部圈层之间、内部与外部圈层之间、各外部圈层之间都是互相影响、相互渗透的，某一个圈层或某一个部分的运动与变化，都会不同程度地影响其它部分甚至其它圈层的变化。另一方面，地球又是一个非均质体，它的不同组成部分无论在物质状态、运动和演变特点上都具有一定差异，表现出分异性。例如，不同地区的地理环境、气候环境具有明显的差异，不同地区的水文条件具有明显差异。固体地球特别是地壳的不同地区或不同组成部分的差异性更为强烈，如大陆、海洋、山系、平原等。这种差异性不仅表现在空间和组成上，也表现在它们的运动、变化、形成与发展上。

三、时间的漫长性与瞬间性（time lengthy and instant）

人类历史上发生的诸如海陆变迁、板块构造、山脉形成、冰期出现、生物进化等重大事件，它们的发生过程多数是极其缓慢的，往往要经过数百万年甚至数千万年才能完成。短暂的人生很难目睹这些事件的全过程，而只能观察到事件完成后留下来的结果以及正在发生的事件的某一阶段的情况。但是，有些事件的发生可以在很短的时间内完成。例如，天气现象或大气运动往往表现为几天、几小时甚至更短的时间，如地震、火山爆发等也都发生在极短的时间内。

四、自然过程的复杂性与有序性（complexity and order of natural process）

地球演化至今经历了复杂的过程。其中既有物理变化，也有化学变化；既有地表常温、常压状态下的作用过程，也有地下深处高温、高压状态下的作用过程。此外，各种自然过程还会受地区性条件的影响而具有地区的差异性。所以，自然过程是极其复杂的，而且这种过程由于其漫长性和不可逆性，依靠人类的力量很难完全重塑和再现其过程，因而更增添了地球科学研究工作的艰巨性。但是，这些复杂的自然过程并不是杂乱无章的，它们都具有其发生、发展的条件和过程，都具有一定的规律性。

五、全球性（globality）

由于地球系统过程具有明显的全球性特征，因此，许多自然现象和过程都不受国界的限制。20 世纪60年代板块构造学说的出现，首先在固体地球研究中建立了全球观概念。80 年代以来大气科学和海洋科学的发展，也已经走向全球化，著名的厄尔尼诺-拉尼娜现象引起的气候灾害影响遍及全球 3/4 范围，就是一个实例。另外，80 年代起一系列大型国际地球科学合作研究计划的推出，如国际岩石圈计划（EP）、深海钻探计划（DSDP)/ 大洋钻探计划（ODP）、世界气候计划（WCP）、国际地圈生物圈计划（IGBP）等，已形成了对地球的全球立体研究网络。

§1.2.2 研究方法（research methods）

地球科学的全球性特点决定了人们必须采用全球范围调查研究和观察测试方法。研究对象的特点决定了地球科学独特的研究方法，并且随着科学技术的发展和进步，地球科学的研究方法也会得到不断的补充和完善。现择要简述研究方法如下：

一、野外调查法（field survey method）

尽管高新技术观测手段在地球科学研究中的地位日益重要，但直接投入大自然的实地手、眼考察法仍然具有无法取代的地位。野外调查是地球科学工作最基本和最重要的环节，它能获取所研究对象的第一手资料。例如野外地质调查、水系与水文状态调查、自然地理调查、土壤调查、资源与环境调查等。只有针对性地到现场去认真、细致地收集原始资料，才能为正确地解决地球科学问题提供可能。

二、仪器观测法（instrumental observation methods）

仪器观测是地球科学用来获取研究对象的定性和定量资料的重要手段，通过仪器观测可以了解到研究对象的各种物理、化学性质、参量的静态特征和动态变化，为科学的分析、推理提供了依据。仪器观测为地球科学步入科学轨道提供了条件。例如 16～17 世纪气温、气压、湿度等气象仪器的发明与创造，使大气科学逐渐发展成为一门完善的学科。现代高精度的常规与高空气象仪器观测仍然是大气科学重要的研究手段。同样，仪器观测在海洋科学研究中也占有特殊重要的位置。仪器观测对于现代地球物理学、地质学的地球内部研究，以及对于环境地学中的各种监测与评价，都具有极其重要的作用。如本世纪中叶发展起来的海洋测深技术（声纳）对于海洋科学的发展和地质学的革命曾起过决定性的作用。近些年发展起来的激光测距、全球定位系统（GPS）和合成孔径干涉雷达（InSAR）已能够以厘米级精度绘制地壳变形，为地球科学取得进展铺平了道路。在现场进行的仪器观测也属于第一手资料，除了科学工作者根据不同的研究目的在现场进行各种观测外，人们还常常设立各种定点观测

台站，如气象站、水文站、地震台站、环境监测站等，并通过大量的台站建立观测网，以便获得系统的观测资料。

三、航空、航天和遥感技术（aviation、spaceflight and remote sensing techniques）

现代航空、航天和遥感技术极大地推动了地球科学的发展，成为现代地球科学不可缺少或不可忽视的重要研究方法。由于地球的空间广大，要在短时间内获取大区域的资料，特别是大区域的动态变化状况，就必须充分利用航空、航天和遥感技术，如卫星云图、卫星遥感影像、航空照片等。航空、航天和遥感技术对现代气象学的发展和进步起了决定性作用，成为其重要支柱。它们也是现代海洋科学、地理学的主要研究手段，而且对于现代地质学、水文科学、环境地学等也发挥着重要作用。

四、室内实验法（indoor experimental methods）

这是地球科学中各门学科均普遍采用的研究方法，主要是从研究对象中取得所需的各种样品或标本，然后在实验室进行分析、测试，以便获取物质成分、结构、物理与化学性质以及形成历史等方面的定性和定量资料，并通过科学实验分析和推断其形成、演变过程、发展趋势等。随着科学的发展，地球科学中的实验科学已有相当的进步。但由于自然过程的影响因素复杂，加之时间的漫长性与空间的广泛性以及现代实验技术水平的限制，无法在实验室再造地球系统的真实过程。因此，地球科学上常采取简化影响因素、创造一些特定的物理、化学环境，模拟自然现象的成因、过程和发展规律，这种方法称为模拟实验。模拟实验只能是近似的，实验结果往往与自然过程有一定差距，但它在再造自然现象的过程、验证和探索地球科学规律方面发挥着重要作用。

五、历史比较法（historical comparison method）

这是地质学最基本的方法论。时间的漫长性决定了地质学必须用历史的、辩证的方法来进行研究。虽然人类不可能目睹地质事件发生的全过程，但是，可以通过各种地质事件遗留下来的地质现象与结果，利用现今地质作用的规律，反推古代地质事件发生的条件、过程及其特点，这就是所谓的“历史比较法”原理。这一原理是由 19 世纪英国地质学家莱伊尔（C.Lyell）提出来的。莱伊尔明确指出，“现在是认识过去的钥匙”，启示人们可以根据现今地表发生的各种地学过程及物质记录，研究地质历史时期的古环境变化，也可以根据地质和人类历史发生过的地质环境和岩石圈演变过程来预测地球的未来趋势。例如，现代珊瑚只生活在温暖、平静、水质清洁的浅海环境中，如果在古代形成的岩石中发现有珊瑚化石，便可推断这些岩石也是在古代温暖、清洁的浅海环境中形成的；又如，现在的火山喷发能形成一种特殊的岩石-火山岩，如果在一个地区发现有古代火山岩存在，就可以推断当时这一

地区曾发生过火山喷发作用等。历史比较法是一种研究地球发展历史的分析推理方法，它的提出，对现代地质学的发展起了重要的促进作用。这一原理的理论基础是“均变论”。均变论认为，在漫长的地质历史过程中，地球的演变总是以渐进的方式持续地进行，无论是过去还是现在，其方式和结果都是一致的。但是，现代地质学的研究证明，均变论的观点是片面和机械的。地球演变的过程是不可逆的，现在并不是过去的简单重复，而是既具有相似性，又具有前进性。例如，地质学的多方面研究揭示，在地球演变过程中，地表大气圈、水圈、生物圈的组成、数量、温压以及地球或地壳内部的结构、构造等特征都在不断地发生变化，与现代的状况存在不同程度的差异，这些必然会导致当时发生的地质作用的方式与过程具有一系列与今天不同的特点。地球演变的过程也并不总是以渐进、均变的形式进行，而是在均变的过程中存在着一些短暂的、剧烈的激变过程。例如，在岩层中常常发现其物质组成及结构构造发生突然性的变化；在古生物演化中也常常发现大量的生物种属在短期内突然绝灭的现象，如 7000 万年前后恐龙全部迅速绝灭等。所以整个地球的发展过程应是一个渐变-激变-渐变的前进式往复发展过程，这也符合量变-质变-量变的哲学规律。因此，在运用历史比较法时，必须用历史的、辩证的、发展的思想作指导，而不是简单地、机械地“将今论古”，这样才能得出正确的结论。地质学的“将今论古”分析方法，实际上对于地球科学的地球物理学、大气科学、水文科学、海洋科学、环境地学等几门学科也均具有一定的借鉴意义。

六、综合分析法（integrated analysis method）

自然过程的复杂性和不可逆性决定了地球科学必须采用综合分析的研究方法。在漫长的地球演化过程中，不同时期、不同方式（物理、化学、生物等）、不同环境（地表、地下、空中等）的自然作用留下的是一幅错综复杂的结果图案。要根据这些图案恢复和解析自然界发展的过程，就必须利用多学科的原理和方法，结合复杂的影响因素，进行综合分析。这一点与数、理、化等学科利用单纯的推导、实验等方法进行研究是大不一样的。例如在地质学中，由于过程和影响因素很复杂，根据某些个别特征，利用单学科的原理和方法，往往会得出片面甚至错误的结论，这就是在地质学研究中经常碰到的“多解性”或“不确定性”问题。因此，只有在综合研究的基础上，才能得出统一的、最可靠的结论。

地球科学研究的工作方法通常具有下列程序：

①资料收集。根据所要研究的课题和所要解决的问题，尽可能详尽、客观和系统地收集各种有关的数据、样品和其它资料。资料的来源包括对研究区详细的野外调查、仪器观测和收集、分析已有的各种资料和成果等。

②归纳、综合和推论。对所收集的资料进行加工整理、归纳、综合，并利用地球科学的研究方法和原理，做出符合客观实际的推论。

③推论的验证。通过生产实践或科学实验来证实或检验推论是否正确，并在实践的过程中不断地修正错误，提高认识，总结规律。

应当指出，地球科学与其它许多领域一样，由于大量基础资料的积累，正在经历着数据处理和计算方法的革命。计算机工具的应用以及地球科学各种信息系统和数据库的建立，已经使地球科学从以往的定性静态描述，转向以过程为目标的精确定量的动力学研究。这些数据信息系统的建立和使用，将为揭示全球变化的形成机理，预测未来全球变化趋势发挥着重要作用。

§1.3 地球科学的发展趋势

§1.3.1 地球系统科学(earth system science)

人类对地球的开发、利用、探索活动由来已久。地质学、地理学、气象学、海洋学和生态学都有悠久的历史。然而，迄今对地球的研究多是针对地球的某一组成部分分门别类地进行的，形成了各种专门学科，以及带有各自门类特色的传统研究方法和知识体系。仅仅在10多年前，科学家才普遍认识到必须把地球作为一个由相互作用着的各个组元或子系统-主要是地核、地幔、土壤-岩石圈、大气圈、水圈和生物圈（包括人类社会）组成的统一系统，即地球系统来研究。只有如此才能真正深化对地球的研究，也只有如此才能回答人类所面临的一系列地球系统行为的紧迫环境问题。这样一种眼界和观念的转变，标志着从传统地球科学观念向地球系统科学观念的转变。这种转变的实现有双重背景，一是地球科学各分支深入发展的必然，二是近40余年来空间对地球观测技术和信息科学技术的突飞猛进开阔了人类的眼界，大大提高了人类认识地球的能力。地球已有46亿年的演化史。从科学探索的开始，人类就寻求有关地球更多的知识。概括起来主要有：①很久以前，人们已认识到地球是一个圆球，并以此来预报日蚀、月蚀。②16 世纪，哥白尼日心说复兴以来，对地球及其在宇宙中的位置有了相当准确的描述。人们的好奇心和经济活动驱使人类遍布世界各地，很多航海家在全球航行，并对地球测量。③17 世纪，牛顿建立了加速度与特定力的关系方程式，从而阐明了包括地球转动、月潮和日潮在内的行星动力学。④18 世纪，富兰克林研究了大气电并确定了电流的路径，郝顿建立了地质时间概念并推断地球内部热能的存在。⑤19 世纪初叶，莱伊尔地质史建立了一个动力学研究方法，达尔文将莱伊尔的方法与生物变化的原始

观测相结合，建立了生物进化论。⑥20 世纪初，魏格纳提出了大陆漂移说。⑦20 世纪后期到 21 世纪初，地球科学转向了行星地球科学时代，从增加地球知识、侧重于资源开发的时代转向了增进地球认识，为人类社会、经济可持续发展服务的时代。

现代技术，尤其是空间技术和大型电子计算机的发展，使对地球的整体探索成为现实。地球科学许多分支学科自身的成熟，促进了各学科之间的相互联系和相互依赖，当代地球科学正从以学科分支为主体转向学科间大跨度交叉渗透研究地球系统的新时代。地球系统科学旨在研究包括自地核到地球外层空间十分广阔的范围内地球系统各组成部分各圈层之间复杂的相互作用过程，以及控制这些过程的机理，从而要求地球科学必须与生命科学、化学、物理学、数学、信息科学以及社会科学相结合，认识地球演化历史，并建立全球环境变化预测的科学基础，以改善人类生存环境，使社会、经济在下一个世纪保持持续发展。当前地球科学研究发展的特点如下。

一、由于地球科学有时空尺度大、综合性强的特点，地球科学研究的重大突破已不是个别科学、单个国家可以实现的，而需要多个分支学科、许多国家联合攻关。因此，建立国际性研究计划已成为地球科学研究重大科学问题新的组织需要，如以全球环境变化为研究对象的“世界气候研究计划（WCRP）”、“国际地圈-生物圈计划（ICBP）”、“全球环境变化的人力影响研究计划（HDP）”、“国际减灾十年计划（IONDP）”和“国际岩石圈计划（ILP）”等。

二、由于空间技术的发展和地球科学的进步，人们已经可以对环境生态、自然灾害、气候变化、资源探索、国土整治与开发进行有效的监测，从维护人类生存和发展的角度来研究环境和灾害的形成机理及其预测预防已成为可能。研究人类活动与地球环境变化之间的关系，即人与自然的关系，已是地球科学研究的重要战略任务之一。

三、从单一圈层的研究发展到圈层间相互作用整体运动的研究。地球系统各圈层的运动，虽然由于制约运动的矛盾不同，有其独立性的一面，然而某些运动形态是在圈层之间相互作用下进行的。因此，把大气圈、水圈、生物圈、岩石圈、地幔和地核这一地球系统综合起来考虑，研究固体地球与流体圈层之间的关系，研究在不同方面相互作用下的运动形式和物质、能量的交换，已是当前地球科学研究的一个重要前沿领域。

四、高新技术在地学中的应用，已能从三维空间动态地探测地球系统的结构和运动形态，使地球科学的理论研究有踏实的实测资料作为基础。从而促进地球各圈层运动的研究从定性向定量，从局部向全体，从三维空间向四维时空，从各向同性向各向异性介质发展，它们都具有非线性和复杂性特征。高新探测技术为地球科学研究的发展提供了资料保证，而地球科

学的理论研究也将会对高新技术的发展和应用提出更多、更新的要求。因此，如何适应探测技术的革命，是地球科学理论研究面临的最重要的挑战之一。

五、大量地球系统数据的收集、储存、处理和分析，对计算机化的数据信息系统网络的硬件和软件提出了新的要求，这已成为当前地球科学研究的基础性工作之一。

综上所述，我们既可看到地球科学从传统地球科学脱胎的印迹，又可体察到今天地球科学正处于发生飞跃和突破的前夕。而地球系统科学正是这个突破口。当然，地球系统科学并不能代替传统地球科学各学科自身的发展，相反，要求它们能更深入精确地研究和提供地球系统各组元自身的规律性知识。然而，从研究对象、研究方法、要解决的问题诸方面看，地球系统科学与传统地球科学相比具有许多全新的特色和更高的层次，是 20 世纪末和 21 世纪最受人们重视的新兴科学之一。

§1.3.2 21 世纪地球科学的三大转变（three changes of geo-science for the 21th century）

21 世纪是人类社会发展史上的一个巨大变革时代，地球科学的发展正在进入一个建立新知识体系的重大转折时期。

从地球科学研究发展历史分析，18～19 世纪是经典地球科学发展时期，促进了工业经济的发展；20 世纪是现代地球科学发展时期，促进了工业经济快速发展，并带来资源短缺，环境恶化；21 世纪将进入高技术地球科学发展时期，将促进知识经济的发展，环境将逐步改善。从当代地球科学发展总的趋势，以及从人口增长、地球资源环境保护与全球社会经济可持续发展等角度分析，21 世纪地球科学可能将向以下三大研究领域转变。

一、地球科学研究时空转变（space-time change of geo-science research）

地球科学从以研究地球系统演化历史的过去和现在为主，转向研究地球系统演化的过去、现在和未来的方向转变。

二、地球科学研究目的转变（purpose change of geo-science research）

地球科学研究的最终目的是由人类向地球系统索取各种自然资源为主，向以科学开发、科学利用、科学管理和科学保护地球系统各种自然资源为主的方向转变。

三、地球科学研究内容转变（content change of geo-science research）

地球科学从以研究地球系统天然地质作用及其产物为主，转向运用各种高技术方法与手段，结合其他星球的探索，研究地球系统整体，包括地球的行星空间、大气圈、水圈、生物圈、岩石圈、地幔、地核等物质组成、结构以及起源、形成与演化及相互作用的研究。19 世纪至 20 世纪 50 年代以前主要研究地球大陆地质，特别是研究造山带地质，形成了地槽、

地台学说。20 世纪 50 年代以来，地球科学重点研究海洋地质，提出了板块构造学说，促进了地球科学的发展。20 世纪 80 年代以来，地球科学研究的重点又转向大陆，将大陆动力学作为前沿研究方向之一。随着科学技术的发展，21 世纪地球科学有可能称为地球系统科学，即是把地球作为一个综合的、动态的从地核至最外层的大气圈进行物质和能量交换为特征的系统研究，其空间研究领域将大大拓宽，主要表现在五个领域:首先是山脉与盆地和城市与重大工程区地质研究结合；其次是地球大陆与海洋研究相结合；第三是地球系统外层、表层各层圈与地球内部各层圈整体组成与结构及相互作用物理、化学、生物过程的研究相结合；第四是地球系统的研究与其他星球和太空的研究相结合。第五是人为地球科学研究。20 世纪 70 年代以后，人类最大的进步就是认识到人类自身的活动对地球系统表面的影响已经达到甚至超过天然地质作用及其产物，人类活动正在迅速改变地球的气候与环境以及表面形态，甚至危及到人类在地球上的生活和居住环境。所以研究和预测这种影响，为控制和消除危及人类自身的影响提供科学依据的人为地球科学，成为地球科学研究的又一个新的研究领域。

由此可见，未来的地球科学将成为人类生存和社会发展的科学。地球科学的前景是光明的，它在社会发展中和在自然科学中的地位将会更加提高。可以预言“21 世纪将是地球科学的世纪”。

思 考 题

1. 如何理解地球科学是一个复杂的科学体系？为什么要强调地球科学的整体性？
2. 地球科学的研究方法有什么特点？它是由什么因素决定的？
3. 你认为地球科学的发展前景如何？

参 考 文 献

1. 陈传康等. 地球科学. 北京: 高等教育出版社，1997，1~5.

2. 中国地球科学发展战略组. 中国地球科学发展战略的若干问题—从地学大国走向地学强国. 地球科学进展，1999，2:105~109.

3. 毕思文. 地球系统科学-21 世纪地球科学前沿与可持续发展战略科学基础. 地质通报，2003，8：601~612.

4. 孙成权. 地球表层学. 见刘全根、孙成权主编，《地球科学新概念集成》.北京:地质出版社，1995，12~14.

5. 缪启龙. 地球科学概论. 北京:气象出版社，2001.

6. 黄秉维，郑度. 现代自然地理. 北京：科学出版社，1999，1-12.

7. Fyfe W S. Earth system science for the 21st century: towards truly sustainable development. Episodes，1997，20(1):3-7.

8. 路甬祥. 21 世纪重要科学领域发展趋势展望.中国科学院院刊，1998，13(2):103~108.

9. 毛同夏. 21 世纪初期中国地质环境态势与可持续发展.水文地质工程地质，1999，(6):6~9.

10. 周涛发. 21 世纪地球科学发展展望与中国地球科学的发展对策.中国地质，1999，(8):14~17.

11. 刘光鼎. 20 世纪地球科学的发展. 地球物理学进展，2000，2：1~6.