

第一章 自然的构造图景

自然界作为一个相对独立的物质系统，其构造是相当复杂的。人类经过了数千年的研究，对此已有了相当深入和广泛的认识。下面我们仅从自然系统的类型、自然物质组分、自然关系、自然结构等方面进行探讨。

第一节 自然系统

自然界各种组成部分之间通过相互联系、相互作用而形成为一个系统整体。系统是物质之间普遍联系乃至存在发展的最为基本、最为重要的方式。

关于自然物质存在的系统性或系统方式，恩格斯在一百多年前就已经注意到并论述过，他指出：我们所面对的自然界形成一个体系，即各种物体相互联系的总体。我们在这里所说的物体，是指所有的物质存在，包括从星球到原子。恩格斯这里所说的“体系”，一般认为就是指系统整体。

所谓系统，就是指相互联系、相互作用的若干要素所组成的具有特定结构和功能的有机整体。以学术界的这种理解为基础，所谓自然系统，就是指若干具有一定属性的自然物质要素，通过特定

的关系而形成的具有一定结构和功能的有机整体。自然系统是自然界存在和发展的一般方式。

对自然系统的特点可以从以下几个方面来理解：

自然系统是由若干自然要素构成的。自然要素即是构成自然系统的物质成分或单元。它一般属于下一个层次物质，具有与系统属性有所区别的属性。一个自然要素难以构成自然系统，构成系统的要素最少需要两个。只有两个及以上具有独特属性的要素相互联结、相互作用，才会构成系统这一有机整体。自然界是最大的自然系统。

自然系统具有一定的结构。所谓结构，是指系统内部各相关要素稳定的相互联系的方式。要素只有通过一定的结构才能形成一个有机整体，并且只有作为一个整体的系统，才具有和表现出自己的功能和属性。大凡系统都有结构，自然系统各要素之间的联系方式是多种多样的，所以，相应的自然系统的结构也有不同的类别 如有时间结构、空间结构、时空结构、相互作用结构等等。

自然系统具有一定的功能。所谓功能，是系统作为一个相对独立的整体在一定的内部关系和外部关系中所表现出来的特性和行为。系统的内部关系是指系统与各要素以及要素之间的关系。在系统的内部关系中，系统的功能通过其各要素的功能耦合表现出来。系统的外部关系是指系统与外在环境因素之间的关系。任何自然系统都处在一定的环境之中。在外部关系中，系统的功能通过其与外部环境的相互作用而表现出来，即通过系统与环境之间的物质、能量和信息交换表现出来。自然系统的内在和外在功能缺一不可，它们互相补充，使系统能够得以存在和发展。

自然系统的结构与功能之间的关系是密不可分的。一方面，结构是功能的基础，结构决定功能。自然系统有什么样的结构，就会相应地具有什么样的功能，结构不同，功能也会不同，结构发生变化，功能也会相应地发生变化。在自然系统中，组成系统的要素

不同，导致功能不同；若组成系统的要素相同，但排列组合的方式不同，也会导致功能不同。前者如铁器与木器，由于组成结构的自然要素不同，导致二者的物理功能大相径庭；后者如金刚石和石墨，二者都是由相同的碳元素所组成，但由于碳原子在空间中的排列组合不同，导致二者的物理性能完全不同。另一方面，在自然系统中，功能对结构具有反作用。系统在发挥功能的过程中，与外界进行着物质、能量和信息的交换，系统从环境中吸收负熵流，当它大于系统自身的熵增加时，系统就会产生更加有序的结构，反之，则导致结构的解体。在人类起源过程中，由于类人猿经常使用工具，结果这种劳动功能反过来影响了他们的身体结构，最终演化成人。自然系统就是在这种结构与功能的相互联系和作用中，实现自身进化的。

自然界中的一切物质都具有系统的属性，它们或者自成系统，或者是一个系统的子系统。由于其要素、结构、环境及各种具体关系的不同，自然系统之间往往表现出很大的差别。但出于科学研究及认识的需要，从不同的角度，根据学术界的研究成果，可以将自然系统划分为以下几个类别。

根据自然系统内发生的运动过程的性质，可以把自然系统区分为非生命系统和生命系统，前者又可进一步分为物理系统和化学系统。物质系统是指在其中发生的过程是物理学所研究的对象的系统，其物质承担者主要是客观物体。发生化学组成或结构变化的系统是化学系统，其物质承担者是原子、分子或离子，其过程及性能变化是化学各学科研究的对象。在生命系统中发生的是以遗传变异和新陈代谢为显著特征的生命过程，其物质承担者是蛋白质和核酸组成的具有生命现象的多分子体系，其过程及性能变化是生物学各学科研究的对象。

根据人对自然系统的参与程度，可以将其分为天然系统、人知系统、人为系统、人工系统和复合系统等。天然系统是指未经人类

实践干预的，与人类尚未发生任何相互联系、相互作用的自然系统。人知系统是指人类虽然对其有一定程度的认识，但却对它的存在和发展无能为力自然系统。如太阳就是这样一种系统。人们虽对其有了一定认识，但对其自然过程只能听之任之，毫无作为。人为系统是指人类不仅在一定程度上认识它，而且也能在一定程度上影响它的自然系统，人类在其中不再无能为力。如一定范围内的天气系统、生态系统等都属于此种情况。人工系统是指完全由人制造的各种自然物所构成的系统，如建筑、机器和交通工具等即属于此。复合系统是指由天然系统和人工系统结合而成的系统，如农业系统、林业系统、江河运输系统、海洋产业系统等都属于此种情况。

根据人对自然的认识程度，可以将自然系统区分为黑系统、白系统和灰系统。黑系统又称为黑箱，是指人们当前对其要素和结构等还一无所知的系统。针对这一系统人们提出了黑箱方法。人们对其要素和结构等在一定意义上已经知道得比较清楚的系统称为白系统。白系统又称为白箱。灰系统是介于前两者之间，人们对其要素和结构知之甚少且相当不确定的系统。由于人类认识的相对性以及自然界的无限性，目前，自然系统的绝大多数是黑系统，其次是灰系统。相对来说，白系统是极少的。但是，随着人类认识的发展，黑系统会转化为灰系统、白系统。

根据系统与环境的关系，可以将自然系统区分为孤立系统、封闭系统和开放系统。孤立系统是指与环境交换的物质、能量很少，以至可以忽略不计的系统。封闭系统是指与环境没有物质交换而仅有能量交换的系统，只允许从环境输入物质而不允许向环境输出物质的系统也属于封闭系统。开放系统是指与环境既有物质交换也有能量交换的系统。现实的物质系统都与外界进行着能量和物质的交换，绝对孤立或封闭的系统是不存在的。

根据系统规模大小及其形式，我们可以将自然系统区分为微

观系统、宏观系统和宇观系统，关于这三种类型的系统我们在后面还要论述。

对自然系统基本类型的这些划分，远远不是所有可能的区分。在实际运用中，人们完全可以根据不同的研究目的，运用不同的标准对其进行另外的划分。而且，以上的划分也仅是相对的而非绝对的，实际上各种不同的自然系统是相互联系、相互作用和相互转化的，很难进行绝对的区分。

第二节 自然要素

通过追溯自然科学发展的历史，可以使我们形成对于自然界各组成部分即自然要素的科学认识。从古代朴素物质观到现代新基本粒子观，随着自然科学的发展进程，丰富的自然界逐步展现在我们面前。

古代生产力水平极为低下，对自然界的认识也只能从最简单的外部现象开始。古代科学最先发展起来的是天文学与数学，埃及、印度、中国、希腊、罗马、阿拉伯等是古代世界文化与科学的中心。古代对于自然界由什么组成的认识，可以归结为关于世界本原的探讨。

古印度人的学术活动大多与宗教活动结合在一起，早在吠陀时代后期，就开始了对世界本原问题的探索。认为世界万物的本原是“风”、“水”或是水、地、火、风四元素，虽是众说纷纭，也都不外乎几种在那个时代看来是最基本的物质。

中国古代自然科学大多只是一些经验性的总结，理论性不强，但中国古代的自然观却带有思辨性质。“五行说”大约形成于商周之际，认为万物由水、木、火、土、金五种物质元素构成。其后也有人认为“水”、“精气”是构成世界万物的本原。但对中国哲学家影响最大的则是把世界本原看做是连续性的“气”的元气说。荀况继

承了精气说，认为“气”是万物的基础。东汉时期的王充明确地把气作为万物的本原，正式创立了元气说。王充之后，唐代的柳宗元、刘禹锡，宋代的王安石都对元气说的发展作出了重要贡献。清代的王夫之则是中国古代元气说的集大成者，认为万物都是有规律理的，规律为气所固有，即“理在气中”。中国古代“气”是人们对于自然现象的一种朴素认识。

古希腊人更加注重理论思维，注重对自然界的理论性探索。米利都学派的创始人泰勒斯认为水是万物的本原，万物由水变化而成，最后又复归于水。另一位著名学者阿那克西美尼认为万物的本原是无定形的“气”，类似于中国古代的元气说。稍后于米利都学派的毕达哥拉斯学派试图寻找一种超越于任何一种具体事物而又为任何事物所共有的，同时又是十分确定的东西作为万物的本原，那就是“数”。在这个学派看来，数不仅是万物的本原，它还是万物存在的性质和状态的描写。再稍后的赫拉克利特则把一种具体的物质——“火”作为万物的本原。在古代，人们还不可能正确认识燃烧现象，误以为火是一种物质。米利都学派和赫拉克利特都是把单一的“物质”看成是万物的本原，毕达哥拉斯学派作为本原的“数”又是无穷地多，它们在说明世界上都有困难。于是恩培多克勒提出了“四根说”，即万物是由四根——火、水、土和气化生而来。四根生化万物的图景不只是涉及了物质本原的问题，而且进一步涉及了物质结构的猜想。

古代原子论从古希腊自然哲学的物质始元说发展而来，其创始人是留基伯和德谟克利特。他们认为，世界万物是由无数细小、不可分割的微粒构成。这种具有“不可分割”性质的细小微粒称为原子。客观世界只有原子和虚空，原子是作为不可分割的小物质实体而存在着，相对于原子的存在来说，虚空是一种非存在，但是这种非存在并不是不存在，虚空也是存在着的，它是原子运动的前提条件。不同种类的原子具有不同大小和形状，它们的不同运动

状态和结合方式，决定着各种物质的不同特性。于是，自然现象的无限多样性便可以用原子的大小、形状、运动和结合方式来加以说明。公元前 3 世纪，古希腊哲学家伊壁鸠鲁在总结当时科学认识成就的基础之上，发展了古代原子论的思想，认为原子还有重量上的不同，原子由于其内部原因还有离开直线的偏斜运动，从而把古代原子论推进到一个新的发展阶段。

古罗马唯物主义哲学家卢克莱修的基本思想与伊壁鸠鲁的相近，他认为在虚空中重物和轻物下落的速度是相同的，原子既不能产生也不能消灭。他还把原子论的思想推广到生物界，认为生物是以自己独有的方式直接从非生物中产生出来的，最先出现的是植物，然后是动物和人。

将自然界的组成归结为一种或几种物质，是由当时不发达的自然科学水平所决定的。当时人们关于自然界的许多知识都包括在哲学之中，不可能有各门系统的、近代意义上的自然科学，因而对自然界具体由什么组成并不清楚，即便是对自然界的一些组成部分进行的研究也只能说是刚刚处于萌芽阶段，或者只能说是一种假想推测而已。

近代自然科学诞生于 15 世纪下半叶，从这时起，人类对自然界的认识进入了一个新阶段。科学家已不再关心古代自然哲学所讨论的那些带有根本性和总体性的问题，而是着眼于自然界的特殊性的具体问题。它既不像古代学者那样依靠哲学的思辨对自然界提出种种猜测，也不像古代工匠那样仅仅追求某种实际的目标。它注重于建立在科学实验基础之上的知识，追求对自然界更深刻、更具体的理解。

伽利略用自制的望远镜观察天体，获得了一系列重大的发现，大大扩大了人们的视野。此后，天王星、海王星相继被发现，打破了太阳系只有六大行星的传统观念，而河外星云的发现，则使人们的视野开始超出了银河系。

把化学从炼金术中解脱出来并确立为一门科学是由波义耳完成的。波义耳继承了古代原子论的思想，把构成自然界的物质看作是一些细小致密、用物理方法不可分割的粒子。18世纪下半叶，人们相继发现了多种气体，认识到空气有复杂的成分，并为科学的燃烧理论的创立开辟了道路。拉瓦锡指出，燃烧是可燃物或金属同空气中的一部分（“纯粹空气”）化合并放出光和热的过程，这里的“纯粹空气”就是我们今天所说的“氧”。气体氧的发现使我们对自然界组成部分之一的空气有了更正确的认识。1808年道尔顿在《化学哲学的新体系》一书中阐述的原子论，从微观的物质结构角度去揭示化学现象的本质，从而开创了化学的新时代。门捷列夫元素周期律的发现则揭示了元素的性质与原子量之间的内在联系，奠定了无机化学的理论基础。与此同时，人们认识到有机物皆含有碳、氢、氧、氮，并建立了有机物的结构理论。随着生物学、物理学的发展，细胞、声、光、热、电、磁作为自然界的重要组成部分，成了人们研究的对象。

19世纪末物理学上的三大发现——电子、X射线、放射性，使人们的眼界大大开阔，使“原子是不可再分的实体”的观念发生了根本的动摇，从而启发人们去探讨原子内部的结构。从普朗克的能量子假说、爱因斯坦的光量子说直到德布罗意的物质波，使人们对微观粒子结构及其运动规律有了比较深入的认识。自卢瑟福发现质子后，1932年查德威克又发现了中子。到目前为止，已发现的基本粒子有400多种，且它们的数目还有不断增加的趋势。

我们现在知道，自然界是由各种运动着的物体组成的统一系统，其中既包括太阳系、银河系、总星系及观测所及的全部宇宙天体，微小的分子、原子、各种基本粒子，又包括各种复杂的有机物和微生物、植物、动物、人类，还有弥漫空间的各种场。自然界的物质形态之所以千姿百态、复杂多样，是因为自然要素之间存在着相互联系、转化和组合的多样性和无限性，自然界在时间、空间上的无

限性以及环境条件的多样性和多变性。自然要素在不同的发展阶段，在无限的空间上可以转化、组合为各种各样的物质形态。现代自然科学已经发现从基本粒子到天体，从单细胞到人等形形色色的自然要素，尽管自然要素多种多样，但我们可以依据不同的标准将其划分为不同的类型。

从物质的能动性角度，可以把自然要素划分为生命物质和非生命物质。

根据现代科学的研究，非生命物质的种类和层次是多样的，其最简单的形态是基本粒子。自发现质子、中子是组成原子核的基本粒子后，人们便把质子、中子、电子、光子等统称为构成宏观世界一切物体的基本粒子。但随着众多粒子的不断发现，人们意识到基本粒子并不“基本”，它们也不可能都是组成物质的不可分割的单元。许多物理学家倾向于不再使用“基本粒子”一词，而改称“粒子”。在一定条件下，质子、中子构成原子核，原子核与核外电子构成原子，原子构成分子，分子构成自然界常态下的客观物体。常见的客观物体存在于地球上，而地球仅仅是众多天体中的一种。目前，人们已经认识到的天体和天体系统有行星、恒星、恒星团、星系（包括银河系、河外星系）、星系团、超星系团、总星系等，已观测到的总星系范围也达到了上百亿光年。我们熟悉的太阳系由太阳、九大行星、以及众多卫星、子行星组成，行星本身又分若干圈层，如地球分为大气圈、水圈、生物圈、岩石圈、地幔、地核等。正是在地球自然环境的长期演化过程中，产生了生命物质。

生命物质基本上可分为植物、动物、微生物三大类，但其具体形态更是缤纷多彩。现今已知的植物大约 30 多万种、动物 150 多万种、微生物 8~9 万种，而且有人估计，没有发现的或以前存在过现已灭绝的生物可能是已知生物种类的几十倍。生命物质不仅种类繁多，且形态结构各具特色。有单细胞、多细胞生物，也有尚不具备完整细胞结构的生物。在植物中，藻类都还没有真正的根、

茎、叶，而蕨类、种子植物都具有真正的根、茎、叶。在动物中，从单细胞原生动物、无脊椎动物到脊椎动物，形态各异，其内部结构也不尽相同。正是由于各种级别、类别的生物在其构成、属性、功能上各具特色，从而构成了千姿百态的生命世界。

当然，将物质形态区分为生命物质和非生命物质是相对而不是绝对的。生命物质与非生命物质之间在能动性方面的确存在着明显差异。生命物质既具有同化和异化的自我更新能力，又具有遗传和变异的自我繁殖能力，而非生命物质并不具备这些特性。但是，生命物质与非生命物质又是密切联系、相互作用、相互转化的。非生命物质可以转化为生命物质，生命物质又可转化为非生命物质。

我们还可以依物质在空间中的存在形式，把自然要素划分为实物和场。

现代物理学认为，自然界已被认识的物质有两种最基本的形式：一种是具有静止质量的粒子，诸如原子、电子等，称为实物；另一种是不具有静止质量的物质，称为场，如电磁场、引力场等。实物以间断的形式存在，并相对独立地占有一定的空间；而场作为自然界中物体内部以及物体之间相互作用的媒介，则是以连续方式存在，可以与其他物质共同占有空间。实物是物质形态的观念已被我们普遍接受，但缘何认为场也是物质呢？早在1905年，爱因斯坦就明确指出：“电磁场不是某种物质以太的状态，而是独立存在的客体，它具有同有质量的物质一样的本性，而且也具有惯性。”尽管场的某些属性只能在特定情况下才表现出来，但这也只能说明它作为一种物质形态所具有的特殊性而已。场作为一种物质形态，是始终处于运动变化之中的，其运动变化同样遵循能量守恒与转化定律、质量守恒定律、质能关系定律等物质的基本运动规律。场与实物的基本区别在于：在空间同一点上不可能同时存在两个实物粒子，却可以同时存在多个场，实物粒子与场都具有波

粒二象性。实物粒子可转化为场量子，场量子也可转化为实物粒子。场和实物是两种完全平等的物质存在形式，自然界中不存在脱离场的实物粒子，也不存在脱离实物粒子的场。

根据物质的聚集状态，可以把自然要素划分为固态物质、液态物质、气态物质、等离子态物质、超密态物质。其中前三种类型是我们日常生活中所常见的，而后两种则是处在特殊条件下自然物质的表现形态。

当气态物质的温度升高到几千度以上时，气体原子的电子就会分离出来，变成带正电的离子。电离出的自由电子总的负电量与正离子总的正电量相等，这种高度电离的，宏观上呈中性的气体叫做等离子体。如大气圈中的电离层就是等离子体态的。等离子体因其特性使它区别于普通气体而被称为物质的第四态。在宇宙中，等离子体可以说是物质最主要的状态，由于宇宙的尺度非常大，宇宙中存在的极微小星际磁场也能对等离子体产生长时间有效作用，从而产生巨大的效应。

当物质处在超高温和超高压条件下时，分子与原子、原子与原子、原子核与核外电子等之间的空隙就会完全消失，物质被紧紧地挤压在一起，从而使物质的密度能高达每立方厘米上千吨、上亿吨，此时的物质便处于超密态。恒星在其演化过程的晚期由于爆发而形成的白矮星、中子星等就属于这种状态的物质。此外，一些人还认为自然界中存在着第六态——真空场和第七态——反物质。所谓真空，并非是绝对的虚无，而是指物质聚集密度极低，甚至没有实物粒子的一种状态。真空具有涨落、极化、相变等特性，而真空本身正是这些性质的载体，这表明真空也是物质的一种形态，具有物质的一般属性和自己的特殊属性。反物质的存在主要依据人们在微观研究领域中发现的反粒子现象。人们推断，既然正粒子组成了我们熟悉的物质世界，那么反粒子也必然会相应地组成反物质世界。只是目前人们对反物质的研究还处于初始阶

段，虽然也已发现了几百种反粒子，但反物质的存在至今仍是一种假设。它是否真正存在，尚需科学家进一步的探索和研究。

此外 自然要素又可归为三个基本类别 即实物、能量和信息。实物、能量和信息三者相互作用、相互结合，就构成了复杂的自然界。除实物外，能量是自然界的另一个基本要素。能量是运动的表现形式和度量，运动的多样性决定了能量的多样性。对应于不同的运动形式 如机械运动、物理运动、化学运动、生命运动 就有不同的能量形式存在。机械运动中的能量，表现为动能和势能，统称为机械能，它们之间是可以相互转化的。物理运动中表现的能量，如热能、电磁能、原子能等，它们之间也都存在着相互转化关系。化学运动引起分子中原子排列组合的变化，同时吸收或释放能量 这种能量一般以热能、电能、光能等形式表现出来 也可统称为化学能。生命运动则通过新陈代谢，即同化作用和异化作用，不断储存和释放能量。在生命运动中体现出来的多种能量形式，如机械能、热能、电能等，一般称为生物能。思维作为人脑的机能 是自然界中已知的最高级的运动形式，也同样伴随着复杂的能量传递和转化过程。

信息是自然界中的第三种要素。信息是在事物之间的相互联系中产生的，它通常体现为关系的属性。人们一般把信息定义为包含未知内容的消息。自从美国数学家申农开创信息论的研究以来，人们逐渐认识到信息在自然界中是普遍存在的。不论是恒星的光谱，还是原子的射线，从无生命的雪花的结构，到生命物质DNA的遗传密码都体现出信息的存在。信息的传递多种多样，恒星发射的电磁波、DNA到RNA的转录都是信息的传递。生物通信即是一个生物影响另一个生物的行为，它可以通过声音、气味、颜色，甚至电磁波、超声波等多种媒介进行。在生物的进化过程中，随着大脑的出现，信息的存在和传递更趋复杂和丰富。一个事物要达到一定的状态，通常是在信息的反馈与负反馈机制的共同

作用下实现的。实际上，自然界中的任何过程都是实物流、能量流和信息流的交汇过程。自然界中的每一个事物，都在不断地和周围的环境进行着实物、能量和信息的交换。它们是紧密相连，不可分割的。从物质和能量的关系来看，运动是物质的根本属性，能量是物质运动的度量和表现，而实物则是能量的载体，任何一种能量形式都需要一定的物质承担者。爱因斯坦所提出的质能关系则从数量上表明了物质和能量之间的转化关系。同样，信息与物质和能量也存在着不可分割的关系。

在科学研究中，人们往往还会依据物质空间尺度的大小将自然要素划分为微观物质、宏观物质和宇观物质。这一点我们将在后面展开论述。

第三节 自然关系

关系是和实体相对应的一个概念。自然界中的关系是指自然界的一切事物、现象之间以及内部诸要素之间存在的相互影响、相互作用和相互制约。当我们研究周围的现实世界时，我们看到，各种事物和现象都是处于彼此相互联系的状态中。各种现象的相互联系表现于他们的相互作用、相互制约中。没有关系，事物无法存在和发展；离开与环境的关系，任何实体都无法表现自己的存在。没有关系，要素就不会形成系统。自然关系就是自然要素之间的相互联系与相互作用。认识自然系统的结构，一个最重要的方面就是认识自然要素之间的关系。

然而，在西方文化传统中，实体思维却一直处于统治地位，支配着西方人的思考。当然，也有一些人从关系的角度来理解自然界，把关系视为一种实在。毕达哥拉斯学派就把世界上的一切事物都归结为整数及整数之比。而强调关系，注重事物间的相关性却是中国传统思维的一个重要特征。现在西方学术界出现了一股

主张抛弃绝对的实体观，而把关系视为实在的思潮，这是一种比较明显的关系实在观。

与实体相对照，我们可以概括出关系的如下特点：

第一，关系具有相互性。关系实质上都是相互的。也就是说，在实体之间发生的关系，没有单方面的，而都是参与关系的诸要素相互作用的过程。在这一过程中虽然有主动与被动之分，但如果缺乏相互性，那么主动一方就不会有对象接受作用，关系也不会形成。自然界中一切关系的发生都是相互的，相互性是关系发生的前提。

第二，关系具有连续性。实体与关系的区别在于，实体与其他实体之间是相互分离的，具有间断性。而关系则恰恰相反，它在实体之间体现出连续性。因为关系必须发生在两个或两个以上的实体之间，由实体的相互连结而形成。

第三，关系具有动态性。实体的存在也离不开运动，但其性质总是在相对稳定之中存在的；关系本质上则是运动范畴、动态范畴，不像实体以相对稳定为主要存在方式，离开运动，事物关系就不存在。当然，在一定条件下，关系也会处于相对静止的状态中。

自然关系是客观的。这种客观性指关系是事物本身所固有的，它以人的意志为转移。关系又是普遍存在的。自然界的一切事物、现象、过程都不是孤立存在的，而是与周围其他事物、现象、过程相联系的。而且任何事物、现象、过程内部的各个部分、环节、成分也是相互联系、相互作用的。

自然界中的事物、现象之间的关系是极其复杂、多种多样的。对自然关系种类的划分，也有多种方式。最基本的方式就是按形成关系的实体的性质去分类。自然关系可以划分为天体关系、地质关系、物理关系、化学关系、生命关系等等。按关系的密切程度来划分，则有直接关系和间接关系、内部关系和外部关系、必然关系和偶然关系等等。不同的关系对事物的存在和发展所起的作用

也是不同的。

在自然界 粒子之间发生的强相互作用、弱相互作用、电磁相互作用、引力相互作用，形成了种种物理关系。这些物理关系是粒子的物理性质的表现，是它们同周围世界发生联系的方式，人们对基本粒子的研究，正是通过这些物理关系事件而达到的。粒子之间的各种物理关系，具有相对的独立性，是一种有别于参与这种关系的各种粒子的另一类物理现象。决不可以因为物理作用离不开粒子，便否认它们的存在和独立意义。原子、分子之间的各种化学活动构成化学关系，它们同样具有不同于原子、分子的独立意义。人们认识化学物质的性质，一点也离不开它们之间的化学关系。生物与环境始终保持着实物、能量、信息的交换，生物与环境的这种关系形成了生命活动。生物一旦失去与环境的这种生命关系，也就意味着死亡，不再是生物而是一堆化学物质。自然环境对生物所进行的自然选择，也是一种重要的生命关系。从宏观上看，各类天体在宇宙中运行，地球上各类宏观物质的运动，无一不取决于相应的自然关系。人们对各种宏观物质的认识，离不开这些宏观的物质关系。所以，从总体上看，自然界不仅是由粒子、原子、分子、生物及其宏观群体组成的，也是由各种物理、化学、生命关系组成的。前者是自然界的实体要素，后者是自然要素之间的联结剂。

关系中事物的本质联系就是规律。列宁说“规律就是关系”，就是“本质的关系或本质之间的关系”^①。万有引力定律揭示了物体之间力的相互关系，元素周期律揭示了元素的化学性质与原子序数之间的关系。科学体系本质上作为规律体系的理论反映，发现事物之间稳定的、本质的关系，就成了科学所追求的目标。以下就将自然界中常见的几种关系进行论述。

①《列宁全集》第55卷第128页北京人民出版社，1990年。

1 因果关系

原因和结果的关系问题是人类在认识和实践首先遇到的问题。它们作为决定论的逻辑依据，是自然界事物、现象之间相互联系、相互制约的普遍形式之一。

因果性是指原因和结果具有普遍存在与必然联系的特性，它被用来描述事物或事件之间的存在方式和变化过程。其中，引起某一种现象的现象叫做原因，而被某种现象所引起的现象叫做结果。在自然界中，原因和结果是紧密结合的，原因总伴随着一定的结果，而结果的产生必然有其原因。原因在前，结果在后，原因和结果之间存在必然的联系。原因和结果是相互依存，不可分割的。

自然界中的原因和结果的关系是复杂多样的。物质运动形式的复杂性决定了因果联系的多样性和特殊性。具体表现在：

首先，因果联系的方式是多样的。一个原因可能导致许多结果，如小行星对地球的撞击导致了地球生物圈的多种巨大变化；而一个结果又可能是许多原因造成的，如恐龙的灭绝等。这样原因和结果的相互交织，就形成了多因多果之间的复杂关系。

其次，不同物质层次间的因果作用形式是不一样的。在宏观领域，物质的因果关系表现为牛顿定律，但在微观分子领域，物质的因果关系却体现为统计规律，到原子核层次，传统因果关系甚至受到了挑战。而且，在无生命领域和有生命领域中因果的作用也是不同的。

再次，原因和结果之间也是互相转化的。很多现象之间存在着互为因果的关系。如电磁波的产生就是变化的电场不断产生变化的磁场，而变化的磁场又不断生成变化的电场的过程；燃烧产生热，而热又引起物质的燃烧；化学反应中的自催化反应也是互为因果的表现。

因果关系为我们认识和改造自然界提供了方法论前提。承认了因果关系的客观性与普遍性，也就坚持了唯物主义决定论原则。

2. 必然与偶然的关系

事物发展有两种不同的趋势，就是必然性和偶然性。必然性是指客观事物联系和发展的合乎规律的、确定不移的趋势，而偶然性是指事物发展过程中呈现出来的某种不确定的趋势。偶然性与必然性一样也都体现了自然界的本质属性。规律也同反映必然性一样反映着偶然性。马克思主义经典作家在考察 18 世纪唯物主义者的规律观后，就批评过他们对于规律的形而上学理解，尤其是过于抬高必然性以排除偶然性的作法。在这里，列宁没有用因果性、必然性去定义规律 而是用‘本质联系’来定义的。

规律反映偶然性在于偶然性具有规律性。偶然性是客观的，而不再被认为是人类知识不足而造成的错觉。偶然性也是普遍的，自然界中从电子到生命无不充满偶然性，在任何时间的任何地点所测出的噪声，也都是随机的。偶然性具有实践性，人们可以在计算机上设计或模拟随机过程 也能够从“有规则的无序”或“无规则的有序”中找到解决流体力学或分子化学问题的方法。当然，自然界不会呈现绝对的偶然性，但也不会有绝对的必然性，正像不能用偶然性否定必然性一样，也不能用必然性否定偶然性，它们两者的关系同样是协调共存、互相补充的。

必然性和偶然性总是互相联系，不可孤立存在的。必然性是通过大量的偶然性表现出来，而偶然性发生作用的地方，背后也都隐藏着必然性。在一定条件下，它们还存在相互的转化关系。如生物在进化中，偶然的、不稳定的突变因为适应周围的环境而得到巩固和发展，从而使生物本身发生根本的变异，产生了新的物种，偶然性的变异这时就成了生物必然的规定性。而消失的某些生物性状在一定条件下，还会以偶然性的方式表现出来，这就是必然转化为偶然。

3. 协同关系

自然界的任何一种事物和现象，从系统的角度看，都包含有序

性和无序性。如当我们把一个冷的物体与一个热的物体接触时，热交换最终会使两个物体得到相同的温度，系统至少在宏观上变成完全均匀的。但是在自然界中决不会观察到相反的过程。因此过程只能向着一个惟一的方向进行。即在封闭的系统中，事物总是朝着有序到无序的方向发展。另一方面，当我们从外部操纵一个系统时，我们能够改变它的有序程度。比如考虑水蒸气的例子。在高温下，它的分子互不相关地自由运动。当温度降低时，它形成液滴，分子互相之间保持一个平均距离。因此它们的运动是高度相关的。在更低的温度，在凝固点处，水转变成冰的晶体，分子完全以固定的秩序排列。在不同的聚集态之间的转变是十分突然的。虽然始终包含的是同一类分子，但是三个相的宏观特征极为不同。人们发现，当大量的系统从无序状态变为有序状态时，它们的行为显示出引人注目的相似性。协同关系就是研究在一定条件下，一个系统中无序性和有序性相互转变的规律和特征。

自然系统的有序和无序，往往能够决定系统的性质。例如，水在不同的温度下，分别以水蒸气、水和冰这三种状态存在。随着无序度的降低，水由气态变成液态，再变成固态。因此，物质的相变伴随着无序度的变化而变化。协同关系主要表现在由大量子系统组成的系统。如湍流系统，子系统包括无数的液体分子和复杂的管道结构；激光系统，其子系统包括原子、光子；生物系统，它的子系统包括动物、植物等。由子系统组成的大系统总有一个相对稳定的宏观结构，这个宏观结构是各个子系统相互竞争、作用而形成的模式，正是各子系统之间的协同作用与竞争决定着系统从无序到有序的演化过程。一般来说，自然系统都是大量子系统之间相互作用而又协调一致的结果，所以自然界的这种协同关系具有非常普遍的意义和研究的价值。

协同关系的研究将统计力学和动力学有机地结合起来，提供了处理相变问题的数学模式，形成了一套很有实用价值的理论，就

是协同学。

4. 竞争关系

竞争是自然界中极其普遍的现象。物理运动中从原子之间到天体之间的吸引和排斥、正电和负电的相互作用，化学反应中的分解和化合反应，一种金属取代另一种金属的置换反应，以及生物运动中的弱肉强食、生存斗争等，都体现了一种竞争关系。

竞争关系在生物领域表现得最鲜明和突出。达尔文提出的生存斗争学说就认为，物种之所以不会数量大增，就是由于所有生物都是处于生存斗争之中的。不仅不同生物之间存在着如鸟吃昆虫、羊吃草的斗争，就是同种生物之间也常因争夺食物、生活场所而发生斗争，甚至同类相食的现象也不少见，如蛇的最大敌人就是蛇类自身。而且，生物还要面临和自然环境的斗争，如生活在极地的生物，要和寒冷作斗争，生活在沙漠的生物，要和干旱作斗争等。

尽管生物在斗争中结成了一定的协作关系，但是，协作的目的还是为了竞争的胜利，所以，竞争关系在自然界中的地位要比协作关系更根本。竞争并不一定是你死我活的对峙，大部分的竞争都是间接和无形的，例如在同一草原上两种食草动物之间的关系。在生物学领域中，竞争关系也存在许多不同的方式。最普遍的是捕食关系、寄生关系等‘损人利己’的关系，当然也有‘损人不利己’的现象如烈性病毒等。另一类重要的关系是互惠共生的关系，如共栖现象、菌类与藻类结合成的苔藓、草食动物肠脏中能分解植物纤维的细菌、蜜蜂采蜜协助传播花粉等。

5. 对称关系

对称关系是人们在认识自然界中发现的普遍近似关系。所谓对称性，实质上是指对物质或物理规律作一个变换而具有的不变性的性质。我们研究物质，如人体、树林、山脉等宏观物体的位置，就会发现物质间的自然对称性；研究物质运动规律，如物质的外部形状、物体的平动、转动、反演等，也会发现它们内部存在必然的对

称性；研究物质的微观结构，如电子、质子等这些微观粒子也都具有对称性。而且，物质自身的组成也具有对称关系，既有各种各样的正粒子如质子、中子、电子等，也有各种各样的反粒子如反质子、反中子、正电子等。我们把由反粒子组成的物质称为反物质。

我们描述物体运动的物理定律也是对称的，即所有的物理定律在洛伦兹变换下保持形式不变。量子力学的位相重复，也具有对称性。这都在一定程度上反映了自然界的对称性。物理学基本定律所要求的时间和空间也是具有对称性的。空间的对称性可以通过现象在空间中的平移来实现，同样，时间的平移也不会影响物理定律的有效性。而且，时间的对称性还可以用时间的可逆性来描述，物理学的基本定律在时间上完全可逆就说明了时间的对称性。

当然，自然界的这种对称关系并不是绝对的。只要我们仔细观察，就会发现任何事物的对称都是近似的，不可能找到严格对称的东西。如人体的左右部分，眼、手、腿等都是有差异的。物理学中的对称性，事实上意味着某种基本量不可观测。现在大量的科学观测证据说明，自然界不是完全对称的。正物质和反物质的数量的悬殊以及宇称不守恒定律的发现、单个细胞出现不对称性才导致细胞群体的形成等，都说明对称不是绝对的。但对称关系是我们认识自然界的重要手段，通过对称，我们看到自然界的基本设计是简单的和可以理解的。

6. 线性关系和非线性关系

“线性”与“非线性”是一对数学名词。“线性”是指两个变量之间具有正比例的关系，它在笛卡尔坐标平面上表示为一条直线。“非线性”是指两个变量之间没有像正比例那样的“直线”关系。

线性作为非线性的特例，有且只有一种简单的比例关系，并且线性系统中的各要素彼此独立，各尽其职，而非线性是对这种简单关系的偏离。非线性关系千变万化、举不胜举，可以一因多果，也

可以一果多因。虽然我们在努力寻求自然界中的线性关系，但纯粹的线性关系在自然界中几乎是不存在的，而非线性关系则广泛存在于自然界中。任何物理学定律所表达的关系，在实际上严格说来都是非线性的。气象学家洛仑兹曾有一个形象的比喻：南半球某地的一只蝴蝶偶然扇动翅膀所引起的微弱气流，在几星期后可能变成席卷北半球某地的一场龙卷风，即所谓的“蝴蝶效应”。该效应其实质就是反映的非线性关系。自然界中弯弯曲曲的海岸线、棉絮团似的云烟、高山的坡度、河流弯曲的曲率都是非线性的。在非线性系统中，各要素彼此影响，相互藕合，一个变量的微小变化对其他变量有不成比例的、甚至灾难性的影响。因此，非线性问题错综复杂，处理起来相当棘手。

客观事物是复杂的，但是，以前人们受到认识能力和认识手段的限制，总是把复杂事物加以简化，略去一些次要因素，或是把复杂系统分解为一些简单系统，以求得对问题的近似解决。科学家把这种处理方法叫做线性化，即把非线性问题化为线性问题。在物理学中，非线性问题由来已久，从伽利略—牛顿时代开始有了精确自然科学起，就碰上了非线性问题。伽利略研究过的摆和牛顿研究过的天体运动，都是非线性力学中的典型问题。19世纪经典力学两大难题——刚体定点运动和三体问题——就是上述两个问题的延续，它们曾难倒了不少科学家，也因而推动了经典力学的发展。然而在近代自然科学发展的早期，为了追求目标的简单性，避免数学上的复杂性，物理学家对非线性问题大都做了线性的近似处理。

一般认为，线性系统由于其解满足叠加原理，因而是可解的；而非线性系统由于其解不满足叠加原理，从而是不易解的。在实际应用中，人们为了获得理想而简单的理解，往往把非线性因素，例如温度变化、空气阻力等忽略不计，对非线性问题进行了简化处理。

在非线性科学正式出现之前，人们普遍认为自然界的任何问题都最终可以线性地加以解决。但现在看来，线性只能解决局部的、有限的问题，而非线性才是普遍存在的。因此，人们直接面对非线性科学就是不可避免的。非线性科学的发展深刻地变革着人们对周围世界的思维方式，甚至说重塑了人们的自然观。事实上，从爱因斯坦以来，物理学家们就开始了物理世界本质的探讨。他们大多数把非线性作为衡量物理理论“完备”与否的标准之一。人们已经开始认识到，物理世界在本质上是非线性的。

但是，这并不等于抹杀自然界中存在着的线性关系。至少这种关系是可以近似得到的。线性关系是我们认识自然界的重要手段和途径，是我们对自然界的抽象和简化，是我们所必需的。今天的非线性科学也并非包容了一切，而只是研究一些非线性领域的共性，大部分问题还要用线性的方法来解决，完全诉诸非线性就会使我们的世界变得无法理解。总之，线性和非线性只有相互结合，相互补充，才能使我们能更好地认识自然界。

人类文明的发展过程，也可以看作是在通过科学文化活动，对各种关系不断进行认识的过程。但自然关系的复杂性决定了人们对自然关系认识的有限性。人们在利用所掌握的关系知识改造自然界的过程中，也不可避免地破坏了另外一些已知或未知的关系，从而导致了一系列的不良后果。所以，我们在发展中要求保持生态平衡，保护环境不受破坏，实行可持续发展，实质上就是要尽可能地维护自然界的种种关系，以加深对它们的认识，使之更和谐地与人们共处，更好地被人们利用。

第四节 自然的层次结构

从系统论的角度来看，自然界可视为一个大系统，其中的物质以系统的方式存在。这个大系统包含着若干子系统，系统间具有

层次关系。对此，恩格斯在 100 年前曾指出：“关于物质构造不论采取什么观点，下面这一点是非常肯定的：物质是按质量的相对大小分成一系列较大的、容易分清的组，使每一组的各个组成部分互相间在质量方面都具有确定的、有限的比值，但对于邻近的组的各个组成部分则具有在数学意义下的无限大或无限小的比值。可见的恒星系、太阳系，地球上的物体、分子和原子，最后以太粒子都各自形成这样的一组。”^①现代自然科学的进步不仅完全证明了恩格斯上述思想的正确性，而且在某些自然物质层次的精确性方面和新的物质层次方面，进一步发展了恩格斯的思想。下面，我们以现代科学的认识成果为基础，以质量和空间尺度的大小为依据对非生命自然系统（非生命世界）和生命自然系统（生命世界）的基本层次作一个大概的描述。

对非生命自然系统，如果按从大到小的顺序，我们可划分出总星系、星系、恒星、行星、物体、分子、原子、原子核、基本粒子这样一些基本层次。

总星系是迄今为止人类认识到的最大的自然物质层次，它大约包括 1 000 亿个星系，范围为 200 亿光年。这一范围随着人类观测技术手段的进步还将不断扩展。总星系就是我们现在所观察到的宇宙，即“我们的宇宙”。星系是由几十亿乃至几千亿颗恒星所组成的恒星集团，其空间尺度一般都在几万、几十万光年。银河系就是一个星系，其形态像一个内厚外薄的大圆盘，中心厚度约 1.2 万光年，最大直径约 10 万光年，星系的质量一般为太阳质量的 1 000 亿倍。星系是宇宙中最普遍的天体系统，星系团、超星系团都是以星系为基础的。宇宙系统一般是指由星系、星系团、超星系团、总星系以及遍布于宇宙空间的射线和引力场构成的物质系

恩格斯：《自然辩证法》，第 248 页，北京：人民出版社，1971 年。

统。

恒星是由炽热的气体组成、能自己进行热核反应并能发光的天体。其质量和空间尺度比星系明显低一个层次。太阳是我们最熟悉的一颗恒星，其质量是 1.929×10^{33} 克 约为地球质量的 33 万倍 体积为 1.412×10^{27} 立方米 约为地球的 130 万倍。太阳的内部在进行着核聚变，其中心温度约为 1.5×10^7 ℃，表面温度约为 6×10^4 ℃。据测算 太阳在目前这种状态下已度过了 50 亿年 它还将在这种状态下存在 50 亿年。由于太阳质量巨大，是个引力中心，在太阳系内，九大行星均绕太阳运转。太阳系则是由太阳和绕它运转的九大行星、卫星、彗星、小行星、流星以及一些尘埃物质组成的天体系统。

行星是绕恒星旋转、自己不进行热核反应的天体，其质量和空间尺度比恒星小得多。地球就是太阳系九大行星之一，其体积为 1.0832×10^{21} 立方米，质量为 5.976×10^{27} 克，平均密度约为 5.5×10^6 克 / 立方米。它包括地核、地幔、地壳、水圈、生物圈、大气圈六大圈层，其地壳表面有限的土壤资源是我们人类生存发展的基础。地球上的大山、海洋、江河湖海、沙粒尘埃等等 大体上都可归于宏观物质这个层次。其质量一般在 $10^{-15} \sim 10^{24}$ 克之间 尺度在 $10^{-7} \sim 10^5$ 米之间，都明显比行星低一个层次。宏观系统包括地球上的物体、卫星、行星、恒星等以及和它们相应的场所构成的系统。

物体是由分子组成的。分子是物体在保持其化学同一性不变条件下的最小单位。其空间范围一般在 $10^{-10} \sim 10^{-8}$ 米之间 质量在 $10^{-22} \sim 10^{-15}$ 克之间。在一般意义上，分子的下一层次是原子。分子中原子的种类、数量以及空间排列形式决定着物质的物理和化学性质，分子的形成和分解是通过化学作用实现的。原子在质量和大小方面和分子之间的判别不像其他层次那样大，但它

们之间在物理和化学性质方面毕竟有很大差异。原子是物质化学反应过程中的最小单位，原子构成分子，原子本身又由原子核和核外电子构成。

原子核是原子的下一层次，它由质子和中子等基本粒子构成，统称为核子。核子通过强相互作用紧密结合在一起。这种力的有效力程只有 10^{-13} 厘米，而强度却比电磁力大一百倍以上。核子的尺度小于 10^{-13} 厘米 质量约为 10^{-24} 克。原子核的大小就半径来说只有原子的十万分之一到万分之一，质量却占原子的 99.9% 以上。基本粒子是目前人类认识的最小的自然层次，它由电子、质子、中子、光子、各种介子和超子等组成 现已发现有 400 多种。过去人们认为基本粒子就是最小的物质单位了，但 20 世纪 60 年代以来，由于科学技术的发展，人们发现情况似乎并非如此，应该有更小的物质层次——夸克的存在。重子由 3 个夸克组成 介子由 2 个夸克组成，夸克之间通过胶子结合在一起。基本粒子并不基本。近年来，人们又开始探索比夸克更小的物质层次。从自然层次的无限性观点来看，这些探索在方向上无疑是正确的，但每前进一步，仍需大量的实验进行反复确证。微观体系是指目前已经知道的包括分子、原子、原子核、基本粒子等以及和它们相应的场所构成的物质系统。

生命自然系统是自然界中高级的物质系统，但它也和非生命自然系统一样，包括着许多层次，按其组成可分为生物大分子→细胞→组织→器官→个体→群体→生态系统等；按亲缘关系可分为门→纲→目→科→属→种等 生命系统的层次结构 在不同的进化阶段上 有着不同的结构情况 生物愈是高等 层次的分化就愈多，结构就愈复杂。生物大分子是包括核酸和蛋白质在内的具有简单生命特征的生命最基本单位，是生命的物质基础。生物体的遗传特征主要由核酸决定，而新陈代谢等生命特征则主要由蛋白质来

承担。生物大分子进一步构成生物超分子复合物。例如，脂类和蛋白质结合成脂蛋白，核酸与蛋白质组成核蛋白，它是构成染色体及核蛋白体（核糖体）的超分子复合物，细胞中的多酶系统以及收缩系统也都属于超分子复合物。生命系统的再高级水平是各种超分子复合物进一步结合成各种亚细胞结构，诸如细胞膜、细胞核以及细胞质中的各种细胞器等。各种亚细胞结构又可组合成细胞，除病毒外，细胞是所有生物的基本结构单位。细胞有原核细胞和真核细胞之分。细菌和蓝藻是原核细胞。其他的细胞生物都是由真核细胞构成的。原核细胞比真核细胞小，结构也简单得多。它除了表面的细胞膜以外，没有形成细胞核，也没有其他细胞器。真核细胞比原核细胞大，有细胞核和多种细胞器。属于细菌类的支原体是最小的细胞，鸟类的卵细胞最大。细胞的大小和形态不一，但它们从结构和功能上看却属于生命的同一物质层次。细胞是生命活动的基本单位，诸如生长、发育繁殖、对外界的刺激反应以及物质代谢等都是在细胞中实现的。

细胞进一步构成组织，组织是具有某种特定功能的细胞的复合体，比细胞高一个层次。植物组织分为两大类，即分生组织和永久组织，植物发育时期的胚胎细胞都是有分裂能力的，在生长发育过程中，细胞将陆续分化而失去分裂能力，成为有特定功能的细胞组织，即永久组织。但成长的植物体内总保留一部分不分化的细胞，它们能继续分裂、分化以补充新的细胞，由这些细胞构成的组织就称为分生组织。动物组织可分为四大类：上皮组织、结缔组织、肌肉组织和神经组织。上皮组织细胞紧密排列成层，覆盖在身体表面和体内各种囊、管、腔的内表面。结缔组织有发达的细胞间质，细胞分散于细胞间质之间。肌肉组织由肌细胞组成，神经组织由神经细胞和神经胶质细胞组成。

组织进一步组合为器官，植物的根、茎、叶、花、果，动物的眼、

耳、鼻、胃、肠、心等都是器官。各种器官组合起来共同构成系统，如消化系统、神经系统等。生物个体含有多个执行不同功能的系统，它们的协调活动实现了生物体的生长、代谢、生殖和发育等全部生命活动。由器官组成的系统为元素可以组成更高一级系统——生物个体。许多生物个体相互联系构成群体或种群。种群是物种存在的基本单位。比如只有一只狼，显然它是无法繁衍下去的。生活在一定区域的不同生物种群构成生物群落，而生物群落又与周围的环境进行着物质、能量和信息的交换，从而形成一个大的生态系统。生态系统的概念是生态学家坦斯利在 20 世纪 30 年代提出的。生态系统的范围可大可小，小到一滴水，一片草地，大到生物圈。

由上所述，可以得出结论，自然界存在着层次结构。如何看待这种层次结构呢？一般认为，层次关系体现着间断性和连续性的统一。既然存在层次结构，那么系统和子系统就存在着质的不同，具有各自的规定性，否则便无法区分母系统和子系统，这便是层次结构的间断性。间断性主要表现在如下三个方面。首先，不同层次的系统，其作用范围不同。原子核结构同生物圈比较起来，显然其空间尺度远不相同。其次，不同层次的系统的组成元素、结构、功能，及适用的规律是不同的。如分子层次上，其组成单位是分子；而在原子层次上，组成单位是原子。分子是保持物质化学性质的最小单元，而原子是在化学变化中保持不变的最小单元，因而各自功能是不同的。分子间通过分子键结合，而原子间通过共价键或离子键相结合，相应的结构形式也就不同。分子运动一般服从热力学统计规律，而原子的运动则受到量子力学规律的支配。正如日本物理学家坂田昌一所指出的那样：自然界是由无限个层次组成的，各个层次在性质上互不相同，各自都服从它自身的规律。再次，不同层次的系统，其系统的结合能是不同的。结合能是指某

一层次的各实物粒子从自由状态结合成复合粒子所释放出的能量。如果要物质某层次的复合粒子分解为各自由粒子则需要等值的能量。一般说来，随着层次的逐层增加，系统的结合能逐步减弱。像分裂原子核，一般需要高能粒子的轰击；而要想蒸发一盆水，只需简单地加热就可以。系统层次结构的这种特性，有助于整个系统的稳定。试想，如果系统的层次越低，其结合能力越弱，那么处于底层的子系统就会极不稳定，由子系统构成的母系统自然也不会稳定。所以，系统的结合能随层数增加成反比，这一特性对于系统稳定是很有意义的。

而另一方面，不同层次的系统之间又相互联系、相互作用、相互转化，体现着层次结构中连续的一面。部分组成整体，部分在整体中才有意义。层次结构的连续性表现为以下三个方面。首先，由于层次结构的普遍性，任何一系统既是低一级系统的母系统，同时也是高一一级系统的子系统，必处于自然系统双向无限层次序列中的一层。其次，不同层次系统又相互影响、互为因果。这是一种双向的因果链。比如说，对于物体密度、质量等宏观属性的解释最终可归结于该物体的分子、原子层面，而物体与物体之间的特定的相互作用，又可能会影响和改变该物体所含分子、原子等的联结方式和能量变化。再次，不同层次的系统在一定条件下可以与相邻的异阶系统相互转化，即高层次的物质系统可以分解为低层次物质系统，低层次物质系统也可以聚合为高层次物质系统。比如生命进化史中，先是无机环境后生成有机大分子最终才产生出生命个体，遵从着从低层次系统向高层次系统发展的规律。而气体经放电后，电子可以从原子中逃逸出来，从而由通电前的原子层次演变为电子和原子核层次，表现出高层次向低层次系统的转化。

总之，系统的层次结构具有间断性和连续性，正是由于两者的有机统一，才充分展现出自然界的统一性和多样性。自然界不存

在只有间断性、而没有连续性的物质层次；也不存在着只有连续性、而没有间断性的物质层次。现代自然科学的发展为揭示物质结构层次中的连续性和间断性提供了更多的新材料。普朗克量子假说的提出，说明了过去认为是连续的电磁辐射具有量子性，即间断性。爱因斯坦提出了光的量子说，说明光具有连续性的一面，又具有间断性的一面。量子力学的建立，为更全面深刻地认识波粒二象性和物质结构层次中连续性和间断性的统一奠定了基础。

第二章 自然的性质

自然系统的一般性质是多方面的，根据现代自然科学的研究成果 我们将其概括为整体性、统一性、对称性、动态性、转化性等，它们分别反映了自然系统的某个方面的特性，但这些特性又相互依存，相辅相成。

第一节 自然的整体性

自然系统的最大特点在于其整体性，也就是部分之和不等于整体。系统的整体性是指系统各要素在系统中的相互作用所带来的各要素所不具备的属性。例如，作为生命物质基础的大分子体系是由蛋白质和核酸组成的，而后两者又分别由氨基酸和核苷酸组成，但是氨基酸和核苷酸却不具备生命物质所特有的新陈代谢和遗传变异功能。

自然系统的整体性依存于系统与要素、要素与要素和系统与环境之间的有机联系中。首先，任何自然系统都是由自然要素构成的，要素是构成系统整体的基础，没有要素也就没有整体。同样，要素只是系统的一部分，要受到系统整体的制约，要素一旦离开系统整体就不再是系统的要素。其次，自然系统的要素之间存

在着相互联系、相互制约的自然关系，它们彼此间的这种相互作用，使得其中任何要素的变化都会引起其他要素，甚至整个系统的变化。例如，生态系统中的各种生物之间就存在着相互影响、相互制约的自然关系。达尔文发现在猫、田鼠、熊蜂、三色堇之间存在着食与被食的关系。猫是田鼠的天敌，田鼠又破坏熊蜂的蜂窝，而三色堇是依赖熊蜂传粉受精的，这样，猫—田鼠—熊蜂—三色堇就构成了一个生物链系统，彼此制约着它们在生态系统中整体的存在，体现了自然要素间相互联系、相互作用对系统的整体性影响。再次，系统的整体性还依存于系统与环境的相互作用上。环境是系统输入和输出实物、能量和信息的场所，因而也是系统得以存在的基本条件。如果系统与环境之间的实物、能量和信息交换遭到破坏，系统就会走向无序，趋于瓦解，系统的整体性也就不复存在。

早在古希腊，亚里士多德就提出了著名的哲学命题：整体大于它的各部分的总和。黑格尔也指出：割下来的手就失去了它的独立存在，就不像原来长在身体上那样。它的灵活性、运动、形状、颜色等等都改变了，而且它就开始腐烂了，丧失它的整个存在了。只有作为有机体的一部分，手才获得它的地位。马克思和恩格斯也多次对系统的整体性作过精辟的论述。贝塔朗菲曾经把亚里士多德的“整体大于它的各部分的总和”这一命题作为一般系统论的基本原理。在自然系统中，体现这一原理的现象是极为广泛的。例如，人是由细胞组成的系统，但是单个细胞却没有使用和制造工具的属性。然而，“整体大于部分之和”并没有概括系统整体性的全部事实。亚里士多德也许注意到了这种现象，他曾以“整体不是其部分总和”来表达整体性思想。贝塔朗菲也意识到了这一点。随着系统论的发展，人们把系统的整体性概括为三种情况：当系统是线性系统时，该系统具有加合性，整体等于部分之和；该系统是非线性系统时，该系统具有非加合性，这时整体功能既可大于各个部分功能之和，又可小于各部分功能之和。

自然环境中的大气、水、植物、动物、人类彼此依赖，息息相关，如果其中的一个环节出现失调现象，就会影响和危及其他环节，进而影响到整体的存在和演化。比如自然中的水循环出了故障，没有充沛的降雨，会影响到地球表面的结构，更会影响到植物和动物的生存。整体性是自然系统的首要特性，组成自然系统的各个部分、各个层次交互影响，交互作用，每一个部分、每一层次都和自然整体息息相关，都从属于整体，依赖于整体。

总之，自然界是一个多层次结构的整体。它其中的任何一个系统都是与其他层次紧密相联，上有更高的层次，下有更低级的层次，层层紧密相联。不同的层次中存在着不同的运动变化规律。低层次的物质系统在高层次物质系统出现以后，其本身不会消失，而是作为高层次系统中的一个组成要素，成为它的构成基础。包含有低层次物质的高层次物质系统，呈现出了新的性质，产生了新的相互作用和结构，出现了新的规律。并且，作为高层次物质系统组成要素的低层次物质系统，与其单独存在的时候，在性质上也有所不同，它以新的形态出现，受到高层次系统运动规律的束缚和影响。例如，在生命的化学起源过程中，作为多分子体系出现的生命，并不是蛋白质、核酸等大分子的简单拼凑，只有当以蛋白质为主的代谢体系和以核酸为主的遗传体系之间出现复杂的相互作用，生命才能出现信息传递、自我繁殖、生长发育、遗传变异等特征。如果核酸和蛋白质离开了系统整体，各自单独存在时，它们就不再具有在生命整体中的这些功能。

所以，作为高层次物质系统中的一个存在要素，低层次系统不能将高层次物质系统的本质包括；反之，高层次系统也不能简单归结为低层次系统，我们在认清不同层次物质系统的特性时，同时要注意区分它们之间内在的相互联系。高层次物质系统不仅包含了低层次物质系统，而且是由其发展而来的。通过对低层次物质系统的研究，有助于我们更好地认识高层次物质系统运动的规律，即

我们要掌握如何通过物质系统的组成要素而去认识系统的整体性。

第二节 自然的统一性

在论述自然的统一性之前，我们先来看看统一性这个范畴。统一性范畴是个多义范畴。通常被规定为共同性、整体性、不可分离性、相互联系、结为一体、一致、融洽、完整性、同类性、同样性等。自然统一性概念作为一般科学范畴，它反映的是自然系统诸因素之间的内在联系。恩格斯指出，早在古代“就十分自然地把自然现象的无限多样性的统一看做不言而喻的，并且在某种具有固定形体的东西中，在某种特殊的東西中去找这个统一”。在希腊神话中是以幻想的形式，借助于神灵把世界统一起来。在西方古代哲学中，泰勒斯认为水是万物的本原，学者们把这作为希腊哲学的开端，因为它表明泰勒斯开始以理论思维的形式探索世界的统一性。在中国古代哲学中，有“阴阳”“五行”学说，“太极”学说，老子的“道生万物”学说等等。由此看来，对世界统一性的探索可以追溯到遥远的过去。古代的先哲们为我们寻求世界的统一提供了丰富的思想。从远古开始，人类探求世界统一性的步伐从来没有停止过，在这里我们主要是看看在自然科学发展的今天人们对自然界统一性的认识。

过去人们曾经认为，自然界的各种运动过程是孤立的、互不联系的；生命有机界不同于无机界，它是受神秘的“生命力”所支配的。关于生命本质的理论曾出现过神创论、活力论、目的论、机械论等。但是化学的发展特别是 1828 年尿素的合成证明了有机物和无机物同样是在物质的基础上相统一的。生物科学发现，生命现象的基础是原生质，原生质的主要成分是蛋白质和核酸等生物大分子，组成蛋白质的基本单位是 20 种氨基酸，组成核酸的基本

单位是 4 种核苷酸。现代科学已揭示出 氨基酸、核苷酸的化学成分也是由组成普通无机物的化学元素所组成的。依靠现代科学技术，人们已人工合成了牛胰岛素这种具有生物活性的蛋白质，这是对生命本质认识的重大突破。这些科学事实都说明，生命有机界和无机界之间并不存在不可逾越的鸿沟。生命世界并没有什么神秘可言，它也是由不同层次物质形态所构成的。

自然科学所探索的自然界的统一，是在一定的历史条件下科学认识所达到的广度与深度范围内物质世界的统一，其目标或是用一种有关物质组成和转化的理论解释各种物质形态在不同层次上的相同性，或是用一种综合的有关物质及其相互作用的理论对自然界的各种现象和过程进行统一的解释，或是用一种阐明物质演化的理论深入揭示自然界中质上不同的领域的共同起源。

宇宙中存在的各种物质，其形态在各层次上均具有统一性。19 世纪 50 年代以前 由于实验和观察手段的局限性 人们难以判断天体的物质成分和地球的化学元素是否一致。德国科学家本生和基尔霍夫于 1859 年着手用光谱分析方法研究太阳的元素构成。他们的研究成果表明太阳和地球在化学元素层次上具有一致性。根据对太阳化学元素的研究方法，人们还在地球上找到了氦。进入 20 世纪中后期 科学家们依次对月球、火星、金星、木星、土星、天王星、海王星等星体上的化学元素进行了研究，结果发现太阳系内外的天体在元素构成上与地球上的化学元素是一致的。这进一步证明，整个无机界在化学元素层次上具有统一性。除此之外，人们还分析了生命的物质基础原生质，结果发现它们均由碳、氢、氧、氮、磷、硫、铁、钙等元素构成，并且前四种元素含量最多。直到现在，仍未发现为生命物质所特有而自然界中却不存在的化学元素，这充分表明了生命界和非生命界在化学元素层次上具有统一性。

进入 20 世纪，人们深入了解到基本粒子层次物质结构，并发现了 400 多种基本粒子，正是这些基本粒子构成了原子核和原

子。这些发现证明了自然界在基本粒子的层次上的统一性。现在，人们根据了解到的基本粒子的内部状况，建构了多种基本粒子模型，如华裔科学家杨振宁和费米于 1949 年提出的“费米 - 杨振宁模型”日本科学家坂田昌一于 1955 年提出的“复合模型”美国科学家盖尔曼和茨韦格在 1964 年提出的“夸克模型”以及中国科学家提出的“层子模型”等等，都从不同角度上逐步深层地揭示着自然界在更低层次上的统一性。随着科学技术的不断发展，自然物质形态的多样性统一将会越来越清晰地展现在人们面前。

随着粒子物理学的发展，人们对物质结构的认识不断深入，20 世纪 70 年代末 80 年代初在粒子物理理论的探索中，有许多工作是探讨夸克的内部结构的，并且提出了各种可能的“亚夸克”模型。现在我们知道，不管是原子还是作为其组成成分的质子和中子都是可以再分的。但什么才是真正的基本粒子？由量子力学可知，实际上所有粒子都具有波动性，粒子的能量和其对应的波动的波长成反比。所以，我们对这个问题的最好的回答，取决于我们的设想中能得到多高的粒子能量，因为这决定了我们能看到多小的尺度。这些粒子的能量通常以电子伏特为单位来测量。19 世纪，人们能够使用的粒子能量只是由化学反应产生的几个电子伏特的低能量，大家以为原子即是基本的粒子。在卢瑟福的实验中使用的粒子具有几百万电子伏特的能量，在这里原子不再是不可分割的，不在是基本的粒子了。随着时间的推移，我们知道使用电磁场给粒子提供的是几百万甚至是几十亿电子伏特的能量。这样，几十年前被认为是“基本”的粒子，原来是由更小的粒子组成的。如果我们能获得更高的能量，肯定会发现这些粒子是由更小的粒子所组成。所以说物质粒子的统一是分层次的，每一个新层次上的物质的统一都是相对的。这种新层次的统一虽然为上一层次的众多的粒子找到了共同的物质基础，但是这个新的共同物质基础很快又会被发现是不统一的。要使这些新的不统一变成统一，就必须

再深入到下一个层次。

在关于物质的基本相互作用的统一方面，现代物理学把物质的四种基本相互作用的统一作为它探索的目标。同时这也是当今粒子物理学发展的主流。对相互作用统一性的研究导致了统一场论。统一场论发展到现在先后经历了爱因斯坦的几何统一场论、海森堡的量子统一场论以及现在的规范统一场论三个阶段。经过长期的探索，人们发现规范统一场论是实现基本相互作用统一的最有希望的理论。弱电统一规范理论的成功，激励人们进一步用规范理论探求强相互作用、弱相互作用和电磁相互作用的大统一，以及把引力相互作用也包括进去的超统一。这不仅深刻的阐明了物质的基本相互作用也和各个层次物质形态一样，具有共同的起源和相似的机制，而且表明了基本相互作用的统一，也是世界物质统一性的本质表现的一个基本方面。

最早进行相互作用的统一工作的是牛顿。他成功地把天上的与地上的力学统一了起来，指出它们的共同根源是引力相互作用。19世纪中叶，在电、磁、光等现象领域所取得的成果的基础上，麦克斯韦提出了描述电磁场性质和规律的基本方程组，建立了第一个完整的电磁理论体系，揭示了光、电、磁现象的本质的统一性，实现了物理学上的又一次综合。但是这些早期的相互作用的统一工作，都只不过是把物质的某种相互作用在不同领域中的不同表现用共同的定律综合起来。很显然，这同后来统一场论把几种不同的基本相互作用用一个综合的理论统一起来，找出它们的共同起源和相似机制的做法是不同的。

现在看来，真正现代意义上的关于相互作用的统一的探索，是以爱因斯坦为代表的统一场论的工作。在广义相对论建立后，人们对引力相互作用有了新的了解，把引力看作是四维时空弯曲的表现。在相对论力学里，时空的属性不再是绝对的，而是和物质以及物质的运动联系在一起。物质的存在不仅产生引力场，而且使

时空的特性发生了变化。当物质存在时，时空是弯曲的，成为黎曼空间，并产生引力场，这时要用黎曼几何来描述。爱因斯坦认为广义相对论还有缺陷，它没有把电磁场包括在内，因为电磁场同时空的结构没有关系。受统一性思想的支配，他开始着手建立统一场论，把广义相对论加以推广，把电磁场也包括进来，实现电磁相互作用和引力相互作用的统一。这种设想是广义相对论的合理延伸，很快就吸引了许多物理学家。由于用黎曼几何描述引力场取得成功，所以爱因斯坦和许多投身于统一场工作的理论物理学家都试图构造一种既可以描述引力场又可以描述电磁场的新的几何，把两种场统一起来。沿着这个方向，各种不同的理论方案曾先后被提出，但最后都没有成功。由于这些方案都是从几何角度去揭示相互作用的统一，所以被称为“几何统一场论”，但最后都失败了。他们的失败是由于没有认识到基本相互作用的统一应该从更基本的层次上去探求。

随着量子物理学的深入发展，除了引力相互作用和电磁相互作用，人们发现自然界中还存在着强相互作用和弱相互作用。所以统一场不仅应该包括引力场和电磁场，而且还应该包括强相互作用和弱相互作用所对应的场。

20世纪40年代以后，量子场论发展起来。在量子场论里，场是物质的基本形态，粒子是场的一种激发态，每一种物质都对应一种场。在这里场是量子化的，它一份一份地激发，每一份对应一个粒子。在量子场论中，粒子之间的相互作用是通过交换场量子实现的。用量子场论研究量子化的电子场和量子化的电磁场以及它们之间的相互作用，建立了量子电动力学这一出色的理论。但是，量子场论的进一步研究和应用，又面临着许多新的问题。首先人们发现的粒子数目越来越多，采取每种粒子对应一种场的做法，不能够继续下去。另外，量子场论中所存在的发散困难的解决也不能令人满意。这样从基本粒子的统一性，联想到基本粒子所对应

的场的统一性，人们又想从统一场论出发寻找新的出路。但这时的场是量子化的场，已不是几何性的场了。50年代，海森堡提出了量子统一场论。他试图从基本粒子的统一去探求统一场论，而不是像爱因斯坦那样试图构造一种新的几何。他引进一个统一的自旋场作为一切粒子的场的基础，并且建立了一个非线性的旋量方程，企图通过这个方程推导出所有的基本粒子和基本相互作用。用一些特殊方法解这个方程，也能得出一些结果。但是所算出的精细结构常数同实验值有很大的差别；而且这一理论本身又面临着系列困难。所以到60年代，这个理论就很快从物理学家的视线中销声匿迹了。

海森堡理论失败以后，新的突破是50年代中期由杨振宁和米尔斯建立的普遍的规范场理论。它吸取了几何统一场论和量子统一场论的教训，同时考虑到场的几何性和量子性。电磁场服从规范理论，它是一种典型的规范场。光子是电磁场的量子，它是电磁相互作用的媒介，因此将光子称为规范粒子。杨振宁、米尔斯把规范变换加以推广，引入了适当的群如 $SU(2)$ 、 $SU(3)$ 来代表规范变换。为了保证在这些群的规范变换下的不变性，就必须引进一些规范场。但杨-米尔斯理论在描述各种相互作用时，无法得出规范粒子的静止质量。这与实际情况不符。因为实际存在的规范粒子除光子没有静止质量外，其他的规范粒子都有静止质量，这是杨-米尔斯理论无法解释的。所以，杨-米尔斯理论建立后，很长时间没有取得实质性进展。1964年，希格斯提出的真空自发破缺对称性概念克服了杨-米尔斯理论的困难，通过一定机制使规范场获得了静止质量。根据希格斯机制，温伯格和萨拉姆各自独立地使规范粒子获得了静止质量，并用此来构造弱电统一规范模型。他们于1967年提出了弱电统一理论。根据这一理论，除了光子，还有三个携带弱力的规范粒子，即 W^+ 、 W^- 和 Z^0 。当存在真空自发破缺对称时，这四个规范粒子所对应的四个原始的没有静止质量

的规范场同真空标量场发生相互作用，于是获得了规范粒子 W^+ ， W^- ， Z^0 所对应的三个具有静止质量的规范场和规范粒子光子所对应的一个没有静止质量的规范场。这样就实现了弱相互作用与电磁相互作用的统一。

弱电统一理论的成功，促进了对强相互作用的研究。在 60 年代，人们就知道强子是由夸克组成的。每种夸克有三种“色”，即红、绿和蓝。在强相互作用中，三种“色”是完全对称的。人们在引入“色”的同时，在强相互作用中提出了以 $SU(3)$ 变换群为基础的规范理论。为了使理论体系具有 $SU(3)$ 定域不变性，必须引入八个规范场，即胶子场，胶子场没有静止质量。这就建立起了量子色动力学。由于弱、电、强三种相互作用都用规范理论描述，人们进一步试图把这三种相互作用用更大的规范群统一起来。最简单的大统一理论模型是有自发破缺的 $SU(5)$ 规范群模型。这个理论模型预言了质子的衰变，但人们进行了一系列的实验，没有一个得到质子衰变的确实证据。所以大统一理论的发展目前遇到了困难。

同时，人们也在考虑把引力相互作用包括进去的四种基本相互作用的超统一理论。最盛行的超统一理论是 1970 年初提出来的超对称规范理论。也许这一方案能比较自然地把引力规范场与强、弱、电三种相互作用的规范场统一起来，从而实现四种相互作用的统一。但是在超对称理论的发展中，也面临着许许多多的困难。

基本相互作用的统一在更深、更高的层次上反映了物质世界的统一性。随着统一场论的发展，将进一步明确自然界中物质及其相互作用的统一性，加深对物质世界的认识。

第三节 自然的对称性

对称，很早就为人们所认识，不论在中国，还是在外国。通过对石器时代人类遗址的发掘，人们发现早期的石器形状多是随意的，不具有对称性，而到了后期，诸如雕刻器、石旋、尖形器等石器则有了较好的对称性。在我们的周围，对称的例子是很多的，像桌子、雪花、太阳的东升西落、大多数的树叶、甚至人体都是对称的。随着文明的发展，对称观念逐渐渗透到人类活动的各个领域，如绘画、雕塑、音乐、建筑、文学等等。数学家则研究了几何图形的对称性。到了近代，对称的观念也进入了自然科学领域。科学家们发现了晶体和各种矿石结构的对称性，研究了低等生物的辐射对称和高等生物的两侧对称。1869年，俄国化学家伽多林提出了晶体对称性的7个晶系和32种对称类型。19世纪数学家伽罗华创造的群论是描述自然界对称性的有力武器。群论是近世代数的重要内容。伽罗瓦首先利用群论的方法证明了求解一元五次方程的代数方法是不可能的。但是群论在当时实在是太新奇，也十分地深奥。直到19世纪60年代，伽罗瓦的理论才终于为人们所理解和接受。1880年，挪威人李将连续群引入群论中。此后，对称成了现代科学的重要概念。近年来，对称更成了研究物质相互作用的思想。对称与守恒定律的关系，宇称守恒与对称破缺，规范对称及超对称理论等等也日益被人们所认识。

一般认为，对称就是指事物或运动以一定的中介进行某种变换时所保持的不变性，即运动变化中的不变性。科学中的对称，与日常生活中人们的理解有所不同，其内容更广泛，而形式上可能更抽象，当然相似之处也是很多的。日常生活中，人们对于对称的理解多为空间对称。自然对称可分为空间对称和时间对称两种形式。空间对称又可细分为外部形象对称和内部结构对称。

形象对称是客观世界中一种最直观的对称形式。首先是左右对称，或者叫做镜面对称，如人的左右手。这种对称的特点为，存在一对称轴，对称轴两侧对应点的连线与对称轴垂直。另一种对称是转动对称，一个五角星，沿着通过其中心并与其平面垂直的轴旋转 72° ，图形便重新复原。平动也是一种对称。平动在数学中有着更为精确的定义。用矢量对平动进行刻画，其数学表达式形式不变。如果图形中的任意一点，变换到该点与对称中心连线的延长线的另一侧等距离处，图形仍保持不变，则称为倒反对称。如一个均匀球面上的任意一点，通过球心反向延伸到另一面仍保持不变，倒反对称也非常普遍。相似也被定为对称，这与常识的理解不太一样。当说起两个对称的事物，我们总觉得它们大小应相差不多，因而形状相似但大小不同的两种事物，可能不认为它们是对称的。这也可以看出科学对于“对称”的定义要比日常的理解要宽泛得多。再者，便是上述几种对称的复合构成的对称。如螺旋线，就是旋转和缩放（即相似）的复合。把一个螺丝钉旋入木板，既有旋转又有平移，每旋转 360° ，就推进一个螺纹，但图形却保持不变。对称中的一个特例是周期性。比如，三角函数 $y = \cos x$ 的最小周期是 2π 其图像经平移 2π 后，与原图象重合。类似的，平面对称的概念可以推广到三维空间中去。像是左右对称、平面对称中对称轴是一条直线，三维空间便是一个平面。

按照上面的说明，我们可以发现自然界中存在着各种各样的对称现象。麦穗和蜈蚣可以看作是平动对称，因为它们每一节的形状相似。海星是转动对称绝好的例子。海螺的螺旋结构是复合对称。大自然为什么充满了如此多的对称，恐怕谁也无法完全解释清楚。一些学者还是对这个问题进行了研究。人们发现许多鱼都是左右对称的，却很少看见鱼是上下对称或者前后对称。鱼不是上下对称，可能是受到重力的影响；不是前后对称，这是因为鱼前进的时候，会受到向后的阻力。人也是左右对称的，尽管不是十

分完全对称。试想，人不是左右对称的，比如左腿长，右腿短，那么人就无法直线行走，只能原地转圈。事实上，人的左右腿就是不一样长的，只是用肉眼无法分辨。人之所以能够直线行走，很重要的一个原因是人走路时是受到意识控制的。再比如蜂巢，在平面上每一个“小室”可看做近似正六边形，而正六边形是一种对称图形。几何学证明，在一切平面划分成面积相同的各部分的方法中，六边形图案中框架的网具有最小的长度。类似的例子还有玉米的软细胞组织，许多硅藻的表面等。

内部结构对称是一种比外部形象对称更复杂的对称，如人体神经血管的对称性分布、晶体结构、旋光异构体等都是结构对称的典型例子。同结构对称相联系的是功能对称。如眼、耳等器官的功能是对称的。苯环上6个碳元子是对称的，在进行取代或加成反应时，所表现出来的性质也是对称的。

时间对称是指在时间的平移或反演下所表现出来的不变性。在许多物理学公式中，用 $-t$ 代替 $+t$ 之后，形式是不变的，这说明它们是时间反演对称的。而单摆的往复运动、每年的四季更替，则是时间周期对称的。

用抽象代数对“对称”作出定义后，对称的含义发生了某些改变。对于很多科学家来说，对称实为一种数学对称、代数对称。对称代数化的结果，使得对称思想有了更加广泛的含义，对称对现代物理学产生了深刻的影响。杨振宁在其《现代物理学中的对称原理》中叙述了现代物理学中的四种对称性：空间-时间对称性（包括由相对论不变性而产生的对称性及由空间反射不变性和时间反演不变性产生的对称性）；电荷共轭对称，即正粒子和反粒子；四个守恒律，重子数守恒、电荷守恒、轻子数守恒和同位旋守恒。其中第四种对称，还有待进一步研究。

守恒是一种对称性，因为对称的实质是经变换后系统的性质不改变，表现在数学上，就是数学表达式不改变。而守恒就是不改

变。因此物理学中许多定律可视为一种对称定律。物理学家证明，如果运动律在某一变换下具有不变性，必然相应地存在着一个守恒定律。空间间隔的平移不变性，意味着物理定律不随空间位置的变化而变化，由此可以引出动量守恒定律。从物理定律不因转动而改变，可引出角动量守恒定律。从时间间隔具有平移不变性可引出能量守恒定律。而在量子化学中，则存在着分子轨道的对称守恒原理。

20世纪50年代以来，人们对于对称和非对称又有了新的认识。1956年，杨振宁和李政道完成了一篇题为《在弱相互作用中宇称是守恒的吗？》的论文，从理论上对弱相互作用中的宇称守恒提出了质疑。次年吴健雄通过两套镜像的 ^{60}Co 衰变实验证实弱相互作用中宇称并不守恒，即不具有空间反射不变性。宇称不守恒意味着左右不对称，不仅如此，电荷共扼也遭到破坏。然而，电荷共扼、空间反射和时间反演的联合变换却具有不变性。

非对称又称为对称破缺，是指事物或运动以一定的中介变换时所表现出来的变化性、差异性。对称性破缺不仅对物理世界的统一具有重要意义，而且对称性的破缺在生命世界中也极有意义。人们发现自然界中氨基酸有L和D两种对映异构体，而组成蛋白质的 α -氨基酸却几乎都是L型的。天然糖中有D糖和L糖，但核糖核酸RNA和脱氧核糖核酸DNA中的核糖却全都是D糖。为什么如此，人们尚无法解释。

对称性显示了自然系统的统一性，而非对称性则显示了自然系统的多样性。对称和非对称相互依存，相互转化，由此构成了自然界的生动图景。

第四节 自然的动态性

任何现实的自然系统都具有动态性。自然系统在系统、要素、

环境等因素的相互作用中所表现出来的运动、变化和发展的过程，就是自然系统的动态性。自然系统的动态性反映了系统状态与时间的相关性，随着时间的推移，系统由一种状态转化为另一种状态。例如，各种元素都不是一成不变的，它们都处于不断的变化之中，只是快慢不同而已。有些元素的半衰期长达几十亿年，有些元素的半衰期却只有几毫秒，甚至更短。再如，物种是可变的，达尔文的生物进化论指出，通过自然选择由一个物种可以产生另一个新物种。当然，物种变化的速度并不是相同的，达尔文认为生物的进化采取渐变的形式，后来，生物学家证明生物还可以通过突变的形式产生新的物种。恩格斯曾说：运动，就最一般的意义来说，就它被理解为存在的方式，被理解为物质的固有属性来说，它包括宇宙中发生的一切变化和过程，从单纯的位置移动起直到思维。现代科学证明，自然系统都是动态可变的。一个建筑物从宏观上看似乎是不变的，但从细微部分看仍是变化着的。系统的动态演化是具有一定方向性的：系统从无序走向有序，是系统的进化；反之系统从有序走向无序则是系统的退化。

自然系统在演化过程中也会表现出一定的稳定性，它也是系统存在的一种基本方式。应当指出，系统的稳定性是有一定界限的，是相对的。系统的稳定性包括静态稳定和动态稳定。静态稳定是指环境的变化不致对系统的状态发生影响。例如晶体系统，组成这类系统的各要素之间有固定的相对位置，因此，晶体系统属于静态稳定系统。动态稳定是指环境的干扰即使能使系统偏离某一状态，但干扰消除后，系统仍能恢复到这一状态。例如生物系统，这类系统尽管与环境不断进行实物、能量和信息的交换，但系统的内部各要素却依然存在着稳定联系，以确保系统执行正常的功能。

系统的开放性是保证系统具有动态性的基本条件，系统只有在与环境进行不断的实物、能量和信息交换的过程中，才能从外界

输入负熵流，并抵消系统内部的熵增加，从而使系统从无序走向有序；反之，如果把系统从环境中孤立出来，随着内部不断的熵增过程，系统就会从有序走向无序，直到最终瓦解。

系统与环境是以物质、能量和信息相互交换的方式相互联系。虽然在科学研究中，人们经常采用理想的“孤立系统”或“封闭系统”，但是实际存在的系统总是存在着实物、能量和信息的输入和输出。系统的改变会引起环境的改变，而环境的改变又会引起系统的变化，正是由于系统与环境相互作用，任何现实的系统都是动态的系统，处于不断的变化和发展中。变化和发展的表现就是运动。由于相互作用的参与者、作用范围、作用强度和交换媒介的不同，因而其运动形式也就有所不同。目前，人们已经发现自然界存在着四种相互作用。以引力相互作用为基础构成的物质系统主要发生相对位置的变化，如地球围绕太阳运动。以电磁相互作用为基础构成的物质系统主要发生聚集状态、物理性质、化学构成等方面的变化。而像中子和质子结合成原子，一些基本粒子衰变及俘获，则是强弱相互作用的结果。

自然系统的动态性可以通过各种类型的运动体现出来。早在19世纪，恩格斯在《自然辩证法》一书中，根据他那个时代科学发展的水平，把自然界中多种多样的具体运动形式归结为四种基本类型，即机械运动、物理运动、化学运动和生命运动。恩格斯的这种划分体现了运动的物质载体与运动的形式之间的统一，为我们提供了了解自然界运动形式多样性的一个思路，成为进一步划分自然界中不同运动形式的指导原则。以恩格斯的思路和原则为指导，立足于现代科学发展的水平，学术界一般把自然系统的运动形式分为以下几种基本类型：

1. 微观物理运动

这是亚原子层次的物理变化和过程，包括强子和轻子的生成和湮灭，光子的吸收和辐射，原子核的衰变、聚变和裂变等具体形

式。其物质承担者是目前已知的最简单的微观客体，是分子层次以下的物质系统，它们都遵守量子力学揭示的规律。

2. 化学运动

这是原子分子层次的变化和过程，包括化学元素的化合、分解、氧化、还原等多种具体形式。化学运动的物质承担者是原子分子体系，它们遵循化学和量子化学所揭示的规律。化学运动是在微观物理运动和某些宏观物理运动的基础上产生的，但始终以原子分子体系为独立承担者的方式存在，并有其固有的特殊规律，因而不能归结为物理运动。

3. 宏观物理运动

这是由原子、分子组成的宏观物质系统的物理变化和过程，运动的物质承担者是分子体系和属于宏观层次的各物质系统，包括地球上的物体、卫星、行星、恒星等。它们的具体运动规律相去很远，但都可以用经典物理学的概念加以描述，属于经典物理学的研究范围。宏观物理运动是在微观物理运动的基础上产生的，但并非微观物理运动的简单放大，而是具有新的规律性。

4. 宇观物理运动

这是星系、星系团、总星系以及射线和场的变化和过程，包括星系、星系团、总星系的形成和演化、收缩和膨胀、吸引和排斥等多种形式。宇观系统的相对论效应比较明显，它们的具体运动规律很不相同，但都与广义相对论所揭示的规律相一致。宇观系统的物理运动是在微观物理运动、化学运动和宏观物理运动的基础上产生的。

5. 生命运动

这是蛋白质、核酸大分子体系的变化和过程。生命运动包括同化、异化、遗传、变异、刺激感应、高等动物的感觉知觉过程和思维过程等具体形式。生命运动的物质承担者是各种生命系统，其中，蛋白质、核酸大分子体系是其基本单位，此外还有细胞、个体

群体等。生命系统都具有自我更新、自我复制、自我调节的特点。生命运动的规律由各门生物学揭示。生命运动形式是在微观物理运动、宏观物理运动和化学运动的基础上出现的。

以生命运动为基础，出现了社会运动，这种更加高级的社会运动在某种意义上与自然的运动形式相对立，其物质承担者是以人为主导要素所构成的各种社会系统。随着社会运动的出现，产生了人工自然，这是在天然自然中从未有过的一种运动形式。

以上表述仅是依据现今自然科学的发展水平，相对粗略地划分出的自然系统中的一些运动形式。随着科学的不断发展、认识水平的日益提高，人类对自然系统运动形式的划分必将愈加科学、精确和完善。

第五节 自然的转化性

转化是自然运动的一种表现形式，是不同的物质运动形式之间相互更替的过程。自然界运动发展的过程，正是各种运动形式不断转化的过程。在自然系统的转化过程中，一种变化必定伴随着另一种与之相对的变化，并且这两种相反的变化有着某种确定的数量关系。在运动形式的转化中，一个物体在失去一定量的某种运动的同时，另一个物体就必然会获得相当量的另一种运动。否则转化就不会发生。

关于运动的转化问题 恩格斯指出：“这些形式本身 以其所起的作用，证明自己是同一运动的不同形式，因为在一定条件下它们是互相转化的。”^① 在自然界中，运动的转化不仅具有普遍性，而且具有多样性。

一方面，同一物质层次的各种运动形式之间是相互转化的。

恩格斯：《自然辩证法》第 61 页 北京：人民出版社，1971年。

例如 物体通过摩擦和碰撞可以生热、发电、发光 由机械运动转化为物理运动；相反，在热机和电机中，物理运动又可以转化为机械运动。另一方面，不同物质层次的各种运动形式之间也可以相互转化。在这种转化过程中，低层次系统的运动形式与高层次系统的运动形式之间经过特定的作用机制而相互转化。一定数量的激活原子相互碰撞后发生化学反应，一定数量的核酸分子和蛋白质分子在化学进化过程中可以复合成生命形式，一定数量的激发原子取得协同模式后能够发射激光等等，都是不同层次间相互转化的典型事例。

总之，运动形式的统一性特征，是通过运动形式之间的相互联系和相互转化来体现的。正是由于运动形式之间的相互联系、相互作用和相互转化，物质世界才显得丰富多彩、纷繁复杂。

根据转化对象的不同，我们可以从物质转化、能量转化、信息转化三个方面来认识理解转化的多样性。

自然物质的各种具体形态之间也是可以相互转化的。在条件具备的情况下，一种物质可以转化为另一种物质，反之亦可。并且，在转化过程中，物质的总质量保持不变，自然界各种物质形态具有内在统一性。

能量是物质运动的表现和量度，对应于各种不同的运动形式，存在着各种不同形式的能量，如机械能、热能、化学能、电磁能等等。能量能够从一种形式转化为另一种形式，或者从一个系统传递到另一个系统，但是在转化和传递过程中，能量既不能创造，也不能消灭，只能从一种运动形式转化为另一种运动形式，而且在转化和传递过程的前后总量保持不变。

质能关系定律进一步表明，在一定条件下，质量和能量同样可以相互转化，通过质能关系式我们还可以精确把握二者相互转化的数量关系，这又确凿地证实了物质的运动和运动的物质之间具有内在统一性。

实物与场尽管不同，但二者之间也是相互联系、相互转化的。实物和场的相互联系表现在：任何实物粒子离开相应的场都不能独立存在，而任何场也都是某几种实物间的相互作用场。任何具有质量的实物周围都有引力场存在，带电体周围存在电磁场，核子之间存在强相互作用场。实物与场的相互转化表现在：只要具备相应条件，实物可以转化成场，场也可以转化为实物。比如，电子和正电子相遇时会“湮灭”转化为光子，即转化为电磁场，而光子也可转化成正负电子对。同样的转化关系在其他粒子与场之间也存在着。

第三章 自然运动的规律

在前两章，我们考察了自然界的构造和性质，下面我们以此为基础，进一步从总体上讨论自然系统运动发展的一般规律。

第一节 方向律

自然界的运动发展是一个自发过程，其中一切事物的运动、变化和发展都经历着一定的过程，表现出一定的趋势和方向。方向律揭示了自然系统的运动、变化和发展的方向性，是自然系统运动发展的基本规律之一。

一、自然系统演化的不可逆性

经典力学认为，在初始条件和运动方程给定的情况下，我们可以准确推知物体在任何时刻的状态，这也就是常说的“可逆性”。然而热力学认为，热总是自发地从高温部分传向低温部分，最终达到热平衡。在这一过程中，热传导是不可逆的。

化学反应中，按不同的条件可以向相反的方向变化的反应，称为可逆反应。例如，水蒸汽和很热的铁相互作用生成氧化铁和氢，而氢和氧化铁在高温下相互作用也可以生成铁和水蒸汽。一般而

言，一个物质系统从某一状态出发，经过一系列过程达到另一状态，并且，存在另外的过程，能够使物质系统和外界环境回复到原来的状态，我们称这个过程为可逆过程，简称可逆。相反地，用任何方法或是在任一条件下，物质系统和外界环境都不能回复到原初状态，就称为不可逆过程，或是不可逆。显然，单一状态不存在可逆或不可逆。可逆是双向的，不可逆则是单向的。在现实的自然系统中，不存在严格的可逆过程。

将可逆与不可逆用于研究自然系统的演化，就引出了是否存在时间箭头的问题。对此，存在物理学和演化物理学有着原则分歧。在经典力学、相对论力学和量子力学中，时间和空间坐标一样，本质上只是一个描述运动的几何参量。力学问题可以放在四维时空中来进行研究，它们的基本方程，如牛顿运动方程、薛定谔方程等对于时间来说都是反演对称的，也就是说，这些方程既可以说明过去，又可以决定未来，在方程中不出现任何“时间箭头”问题。总之，这些力学描述了一幅可逆的、对称的世界图景。但是，热力学第二定律却揭示了时间的对称破缺和不可逆性：在一个孤立系统中，热量总是自发地从高温物体传递到低温物体，直至达到热平衡状态而不会出现相反的过程。如果用熵来表示热力学第二定律，即在封闭系统中，熵的变化不会小于零，这就是著名的熵增原理。

热力学第二定律指明了不可逆过程的方向性，即“时间箭头”只能指向熵增加的方向，时间不再是单纯的运动参量而是物理学的事实了，从而第一次把历史的观念引入物理学。但是，热力学第二定律所表述的不可逆过程实质上是一种退化论，随着熵的单调地增加，系统由有序退化为无序。如果把熵增原理由孤立系统简单地推广到整个宇宙，就会得出“宇宙热寂说”的悲观结论。在生物进化论中，系统是从无序到有序，由简单到复杂，由低级到高级，由少功能到多功能的有组织发展演化的。显然，这里出现了热力

学第二定律与生物进化论的矛盾。耗散结构理论的创始人普里戈金发现了这一问题。在不违反热力学第二定律的前提下，他成功地说明了一个远离平衡的开放系统，通过与外界的物质和能量交换，从外界引进负熵流，可以从无序的状态向有序状态转化，从而解决了热力学第二定律与生物进化论的矛盾。普里戈金认为宇宙是一个开放系统而不是一个孤立系统，它只能沿着从无序到有序的方向演化，会变得越来越复杂，越来越丰富多彩，时间不可逆，历史是永远发展的。

二、自然系统演化的总趋势

不可逆过程所施加的作用既可以破坏有序结构，又可以产生更加有序的结构。的确，在自然系统的演化过程中，既可以从有序向无序演化，也可以从无序向有序演化。在平衡态的孤立系统中，演化的方向是从有序到无序，即退化，在这里遵循的是热力学第二定律的熵增原理。但是在远离平衡态的开放系统中，两种可能性都有，即进化和退化都有可能发生，这取决于系统从外界输入的负熵流的大小。如果系统从外界输入的负熵流的绝对值大于系统不可逆过程的熵增加，则系统是进化的，否则就是退化的。

自然的任何物质系统都要经历产生、发展、衰退和解体的演化阶段。产生、发展是以进化为主的阶段，衰退、解体是以退化为主的阶段。从基本粒子形成原子、分子，从弥漫的星云演化为有序的星系，简单原始的地球经过漫长的演化历程形成复杂有序的圈层结构，进而在地球上又产生出简单的生物，简单的生物经过一系列从低级有序向高级有序的发展，最后产生出高度有序的人，这是一条从无序到有序，即进化的链条。生物体的衰老死亡，生物界中某些物种的灭绝，岩石的风化，水土流失，太阳系、银河系的衰老则是一条从有序到无序，即退化的链条。

自然系统中普遍存在着进化和退化两种演化过程。进化和退

化既存在本质区别，又具有统一性。进化指的是‘自然系统由无序到有序，由低级到高级的演化趋势和过程；反之，自然系统由有序到无序，由高级到低级的演化趋势和过程，则是退化。二者是两种截然相反的变化。但任何系统中都不可能具有绝对的有序或绝对的无序，因而也不可能趋向绝对的进化或退化。以进化为主的过程部分地包含着退化，反之亦然。例如，在猿转变为人的过程中，同猿相比较，像攀援能力、消化能力、适应自然环境的能力等，人类无疑具有‘退化’的特征。

进化和退化都是事物自我肯定和自我否定的过程。当原有事物进入不稳定状态时，便会在一定的外部条件作用下，依照自身内部而非外部环境的情况进行自我组织或自我解体，直至新的稳定状态到来为止。虽然进化和退化是事物朝着两个相反方向的运动过程，但二者往往是同时存在和发生的。因为物质系统有序程度的提高，需要从外部输入负熵，这意味着系统中的熵转移到环境中去，因而降低了环境的有序程度。物质系统进化的同时，必然导致环境在某些方面的退化。我们必须正确面对进化这一类问题，切不可盲目乐观，以为凡是常有进化性质的事物都是完美的。例如，工业化推进了人类社会的文明程度。但是，工业化大量消耗了地球几十亿年来的能源储备，向自然系统排放了大量的废气、废物和废水，带来了生态环境的恶化。在一定条件下，进化和退化可以相互转化。按自组织理论的观点，一个开放系统，在远离平衡的非线性区，通过引进负熵和正反馈循环，经涨落或起伏，会从无序状态产生有序结构。但有序运动的系统，在一定条件下，通过一定的方式会形成无序状态。例如，有周期、有节律的运动丧失周期和节律等。

进化和退化既有演化方向的区别，又有相互包含、同存共生和相互转化方面的同一性。但是现实的自然系统演化的总趋势是存在的。20世纪以来，对宇宙形成、天体演化、生命起源、生物进化

的研究结果都表明自然系统的演化是一个不断上升、进化的过程，我们生活于其中的自然系统的演化只有一种总的趋势，这就是从简单到复杂 从无序到有序 从低级到高级的总趋势 这种总趋势集中表现在系统的产生和发展阶段。恩格斯曾表述过这样的思想 自然界除了无止境的由低级上升到高级的过程之外 什么都不存在。这个系统演化的总趋势由以下几种基本的演化形式构成：一是通过系统内部要素在新的条件下的耦合形成某种有序结构，如在元素演化中从轻元素向重元素的演化。二是在相对均匀的系统 在一定条件下要素发生分化 从而形成复杂有序的结构 如各种天体从原始星云中分化出来的过程。三是系统通过自我复制、突变和选择的作用 变得更加有序、复杂 如生物的进化过程。自然界物质系统的演化之所以具有这个总的趋势，是因为自然界中存在着物质系统的自组织过程 关于这一点 我们在下一章还要涉及。

三、方向性与目的性

自然系统演化的方向性与其内在目的性相关。简单地说，目的就是指事物在变化过程中所追求的目标，在一定条件下必然要达到的终极状态。这种目的性 不论在人类社会、生物界 还是在非生命世界的发展运动中 都是普遍存在的。当然 对目的性概念的这种理解是我们今天才形成的科学认识。在古代，目的性概念曾一直是一个长期引起争论的概念。它由于亚里士多德的“目的因”所导致的泛神论的活力论和近代沃尔弗式的目的论而受到机械自然观的抨击。在系统论、控制论发表之后 目的论才开始以科学的形态复苏 被赋予了全新的科学的解释 成为了一个重要的科学概念。

20 世纪初，法国生理学家贝纳德发现，一切生命组织都有一种共同的性质，即它们的内环境即使在外界环境改变时仍然能保

持不变。一切生命机制不管怎样变化，只有一个目的，即在内环境中保持生存条件的稳定性。20世纪30年代坎农提出“内稳态”概念，认为机体具备这样一种能力：即在外界环境不断变化的条件下，机体始终保持内稳态的能力。例如，人的体温都保持在 36°C ~ 37°C 之间。这是由于在有机体中存在这样一种机制：当体温一旦偏离了这个内稳态的恒定值时，就会马上引起一系列反应，使体温的偏离得到纠正。这个内稳态的恒定值，就是机体自组织所趋向的目标或目的。它是系统或生命有机体保持自身的组织性的重要条件。

那么，这个内稳态的稳定值的目标是怎样实现的呢？维纳提出了负反馈调节机制，趋向目标的行为被解释为负反馈行为。例如，拖拉机工作时，负荷会经常变化。要使拖拉机能在变化着的环境中有效地工作，就必须把拖拉机负荷变化的信号再传给拖拉机，作为拖拉机继续工作的依据。离心式调速器就起到了传递这种信号并控制拖拉机正常工作的作用。当负荷减轻时，发动机转速增加，调速器的钢球由于离心力的作用而升起，通过杠杆缩小油门，减少供油量，这样发动机的速度就降了下来。相反，如果负荷增加，发动机速度减慢，调速器小球下降，通过杠杆开大油门，增加供油量，这样发动机的速度又升了上去。拖拉机就是通过这样的负反馈控制来维持发动机转速的。否则，就会经常出现飞车或灭火的现象，拖拉机根本无法工作。

一个系统之所以在受到外部干扰后能迅速排除干扰，纠正偏差，恢复内稳态的恒定值，是因为系统内部有一种测量目标差的装置，即测量恒定值和受干扰后产生的变量的装置。它把测量的结果“通知”效应器，通过效应器的作用纠正偏差。在这一过程中，信息传递起着重要作用。

贝塔朗菲在一般系统论中，把系统的目的性解释为系统的“预决性”。系统的有序性是按一定方向的有序，这种方向就是由一定

的预决性或目的性决定的。贝塔朗菲还把系统的目的性和有序性同系统结构的稳定性联系起来。在协同学中，哈肯把目的与系统在相空间中的‘极限点’和‘极限环’联系起来，并具体地解释了上述相空间中的‘目的点’或‘目的环’是怎样出现的。

进入 20 世纪以来，系统论、控制论、信息论、耗散结构理论、协同学、超循环理论都对目的性作了有益的探索，使目的性概念已经完全摆脱了“生命力”、“上帝或人的意志等神秘的性质”而成为在科学上可以理解的东西。他们所谓的目的性，就是有机体或系统在给定的条件下走向稳定结构的自组织现象。自组织是在确定方向上的自组织，而目的性就是系统要达到的那种最后状态的方向性。

第二节 守恒律

自然界的所有事物都处于不断的运动和变化之中，这种运动和变化是有规律可循的。守恒律是自然界发展和变化的又一基本规律，它是指事物的各种运动形式之间相互转化时，在质和量上保持守恒。

一、守恒定律的来源

文艺复兴后，人们对自然界的认识进入了一个新的阶段。新兴的实验科学使精密的定量研究逐渐在科学中占据了主导地位，在这样的背景下，人们相继发现了一系列的守恒定律。

第一个守恒定律是笛卡尔从哲学上明确提出来的动量守恒定律。笛卡尔在其名著《哲学原理》一书中指出运动是物质的存在方式，任何物质的运动都具有一定的量，这个量始终保持不变。笛卡尔第一次从量的守恒的角度阐述了运动不灭定律。他所说的运动量实际上是机械运动中的动量，所以他阐述了动量守恒定律的基本内容。自然界中的机械运动除了直线运动外，还有转动。在对

物体转动的研究中，人们发现了角动量守恒定律，即当物体所受的合外力矩为零时，角动量保持不变。18世纪下半叶，拉瓦锡对化学反应特别是燃烧反应进行了精确的定量研究，知道反应前后的物质质量保持不变，于是他发现了质量守恒定律。正是在这一定律的指导下，拉瓦锡发现了氧，推翻了燃素学说，把化学的发展引上了正确的道路。

到19世纪中叶，不同国家的许多科学家差不多在同时各自独立地发现了能量守恒定律。它被恩格斯列为19世纪自然科学的三大发现之一。但是这一定律仅仅从量的方面论证了能的守恒。恩格斯用辩证唯物主义的观点对此进行分析，他不仅注意到了运动形式之间转化的量的守恒，而且强调质的转化方面的守恒。他说：“能量守恒。运动的量的不变性已经被笛卡尔指出来了……而运动形式的转化却直到1842年才发现，而且新的东西正是这一点而不是量的方面的不变定律。”^①又指出：“运动的不灭不能仅仅从数量上去把握，而且还必须从质量上去理解。”^②所以恩格斯认为，称这个定律为能量守恒与转化定律，才能更全面、更深刻地反映它的内容。

二、自然系统运动转化在量上和质上的守恒性

所谓运动转化在量上的守恒性，是指当一种运动形式转化为另一种运动形式时，能量既不能创生也不能消灭，它只能从一种形式转化为另一种形式，在转化的过程中遵循着严格的量的守恒关系。这也就是说，在一个封闭系统中各种物质的能量形式不管怎样变化，系统所具有的总能量是始终不变的。恩格斯指出：“运动形式的变化总是至少在两个物体之间发生的过程，这两个物体中的一个失去一定质的运动（例如热），另一个就获得相当量的另一

恩格斯：《自然辩证法》第256—257页，北京人民出版社，1971年。
恩格斯：《自然辩证法》第22页，北京人民出版社，1971年。

①

三、守恒律的客观普遍性

20

1927

$$E = mc^2$$

第三节 循环律

一、自然系统循环发展的普遍性

①

在着的。无论是微观领域、宏观领域还是宇观领域，也无论是无机界还是有机界，都存在着各种各样的循环现象。

天体演化是一个循环的发展过程。按照星云说，恒星是从星际弥漫物质星云形成的，经过一定的演化阶段后，又将回到星云。恒星的演化经历着周而复始的循环：星云—恒星—星云。

地球上海陆的演化也是一个往复循环的过程。板块构造学说认为，在通常情况下，地幔物质冒出洋底，从大洋的中脊处形成新的地球板块；随着时间的推移，岩石圈板块在大洋中脊处不断向两侧扩张，并最终在海沟处俯冲下去重新熔入地幔。正是如此的循环往复，造成了今天地球上的海陆图景。

生态系统发展的循环主要得益于物质循环和能量流动，植物通过光合作用把从周围环境中摄取的二氧化碳、水和无机物质等转化为有机物质，并释放出氧气。新的物质和能量经过食物链在各级动物中传递。而所有动植物死去又被微生物分解为无机物质，重新回到环境中成为植物进行光合作用的原料。正是这类循环过程，维持着生态系统的繁荣和稳定。

生命活动的周期性也是显而易见的。脱氧核糖核酸的自我复制具有周期性，生物细胞的新陈代谢具有自己的生命周期。任何物种的系统发育，都是由无数个体的生灭周期所构成的系列，就较高等的植物而言，还有开花结果的周期，动物体的生命活动也有呼吸周期、体液循环周期和神经活动的兴奋抑制周期等。

以上这些大量事实充分说明，循环性普遍存在于自然界各个物质系统和物质层次的变化发展中，它是自然系统演化的普遍形式。

二、自然系统循环发展的多样性

自然系统变化发展的循环性不仅是普遍的，而且还具有多样性。人们普遍认为：

第一，循环有多种类型。由于自然系统中物质形态和运动形式是多种多样的，不同的物质形态和运动形式具有不同的规律，从而造成了各不相同的循环类型。例如：机械运动有运转周期，物理运动有频率周期，化学运动有元素周期，生物运动有生命活动周期等等。

第二，循环周期长短的不同。太阳绕银河系中心的运动周期为二亿五千万年，地球绕太阳的公转周期为一年，脉冲星的辐射周期只有几秒。在生物界中，植物有一年生、多年生到千年生的，动物生命周期有按小时计的、也有按百年计的，微生物的生命周期一般只有几小时或几分钟。

第三，循环的不同环节与多阶段。自然物质系统的循环过程包含着不同的环节或是阶段。比如，地球的昼夜、心脏的收缩与舒张就只具备了两个环节，元素的酸性、中性与碱性则是由三个环节构成，昆虫的卵、幼虫、蛹、成虫以及季节变化的春、夏、秋、冬是由四个环节构成的；当然，也有由更多的环节和阶段构成的，比如水稻和小麦的个体生命周期就分为发芽期、苗期、分蘖期、孕穗期、抽穗期、扬花期、结实期等不同阶段。构成事物发展的不同环节或阶段，深刻地反映出自然界循环发展的多样性。然而，这些环节或阶段并不是随意决定的，而是事物内外因素变化发展的结果。

第四，循环必要条件的不同。我们知道，九大行星的运转周期各不相同，造成这种现象的原因在于各行星具有不同的质量以及它们与太阳之间的引力大小、距离都不相同。生命的循环还要具备更多特定的生活条件。例如种子转化为植株，再转化为新的种子的条件是土壤、水分、空气、阳光、温度等。同样，一粒正常的虫卵，要孵化成虫并产出新卵也需要一定的环境条件。

总之，自然界变化发展的循环性不仅具有普遍性，而且具有特殊性，呈现出多样性的模式。只有具体地揭示循环的特点，弄清循环内各个环节或阶段过渡、转化的条件，才能对循环式发展的规律

有更深刻的认识，从而指导人们更有效地认识和改造自然。

三、循环是自然系统演化的基本方式

在自然系统中，循环发展之所以是普遍存在的，是因为循环是物质系统演化的基本方式。一般认为，这表现在以下几个方面：

循环是保持物质系统相对稳定的重要条件。对于某些系统而言，只有在其内部或与外部建立循环机制，才能保持系统的相对稳定。对于某类系统而言，同样只有建立某种循环机制，才能在个别系统的有生有灭中保持它的存在。没有“星云—恒星—星云”的循环，就不会有满天的恒星；没有生命的循环过程，生物就不会生存和繁衍。没有光、电、磁、声波的周期性，就没有光、电、磁、声波的存在和传播。所以，物质和物质系统在演化中的循环是自然界变化的普遍形式。

循环是物质系统得以发展的前提之一。循环有可逆循环和不可逆循环之分，可逆循环是有条件的、相对的；而不可逆循环则是无条件的、绝对的。循环发展是物质系统普遍具有的，因而循环不可能只是简单的重复，也不是永恒不变的封闭圆圈，而是开放式的，是螺旋式前进的，哲学上将这种循环发展概括为否定之否定规律。在物质系统的发展中，新的循环是对先前的循环的扬弃，既有继承，又有发展，先前的循环在量上的累积最终会导致物质系统发生质变，循环为物质系统的发展奠定了基础。

四、自然系统演化的无限性

自然系统在完成一个演化周期之后，新的演化会继续进行吗？也就是说，自然界的演化是否真的具有无限性呢？这是一个很有意思的问题。恩格斯早在 19 世纪中叶便开始注意这一问题，但限于当时的自然科学条件，并不能给予此类问题足够的实证材料，对此也不可能得出合理的科学解释，因而，恩格斯的研究就主要集中在

在哲学领域里，但他还是为后人研究演化的无限性作出了开拓性的贡献。恩格斯认为，物质运动是一个永恒的循环，在完成其一个发展的周期后，并不就此终止，而是要经历无数的发展周期，前一循环的终点也就是后一循环的起点。“在这个循环中，物质的每一有限的存在方式，不论是太阳或星云，个别的动物或动物种属，化学的化合和分解，都同样是暂时的，而且除了永恒变化着、永恒运动着的物质以及这一物质运动和变化所依据的规律以外，再没有什么永恒的东西。”恩格斯的这段话深刻地阐述了自然界演化的有限性与无限性的辩证统一关系。具体的物质形态或物质系统在此时此地会毁灭，但它们在彼时彼地又会产生。所以自然界演化发展的无限性不是离开具体的演化过程的纯抽象的无限，无限循环存在于有限循环之中，无数有限循环构成了无限循环。

对克劳修斯从热力学第二定律得出的“宇宙热寂说”，恩格斯根据运动不灭原理进行了批判，强调应从质的不灭性方面来理解运动和物质不灭原理，这种质的不灭性是物质由一种运动形式转化为另一种运动形式的能力是永恒的、无限的。恩格斯指出：“形成我们宇宙岛的太阳系的炽热原料，是按自然的途径，即由运动着的物质天然具有的运动的转化产生出来的，而转化的条件也因此必然要从物质再生产出来，即使是在亿万年后或多或少偶然但是以那种也为偶然中所固有的必然性再生产出来”。^①

恩格斯认为，在自然界演化过程中，时间无限性和空间无限性是辩证的统一。“无限时间内天体的永恒重复的先后相继，不过是无限空间内无数天体同时并存的逻辑补充。”^②也就是说承认宇宙中无数的有限的系统的同时并存，必然要承认这些系统在时间上是前后相继的。这是因为如果不承认宇宙在时间上通过新旧系统的连续更替而无限发展，那么无数有限系统的灭亡最终将导致整个宇

恩格斯：《自然辩证法》第22页 北京：人民出版社，1971年。
恩格斯：《自然辩证法》第23页 北京：人民出版社1971年。

宙的灭亡，从而导致否认物质和物质系统循环过程的无限性。

在当时缺乏科学实证材料的情况下，恩格斯根据运动不灭原理提出了自然演化的无限性思想，是很了不起的。对自然界演化的无限性的认识是随着自然科学的发展而深化的。100多年来科学的发展，特别是耗散结构理论、协同学和超循环理论的创立与发展，为此提供了越来越多的证据和理论支持。

自然系统演化的无限性是一个关系到科学和哲学的复杂问题。科学的历史还不长，运用有限的科学事实和科学理论去证明无限宇宙的无穷演化，是一件很难的事情。在哲学层次上，只能根据不充分的事实去作首尾一贯的推理。对自然界演化的无限性的具体论证是自然科学家世代代的任务。这一问题的真正解决还有赖于自然科学本身的进一步发展。

第四章 自组织图景

20世纪六七十年代以来，一批研究复杂现象的横断学科，例如耗散结构理论、协同学、突变论、超循环论、混沌理论等纷纷产生。这些理论的共同之处，在于从各自角度研究系统的动态演化过程，为我们展示了一幅自然界中复杂系统的自组织图景。

第一节 图景的转变

什么是组织与自组织呢？组织这一概念有两层含义。第一层含义是指事物的有序结构本身，第二层含义是指事物内部各要素按一定结构和方式相互结合，形成有序存在的过程。也就是说，作为一个名词，组织指事物的有序结构；作为动词，组织指事物获取有序结构的演化过程。应该承认，以耗散结构理论为首的自组织理论，主要是从后者即过程的含义来使用它的。

组织本身包括他组织与自组织两种形式。如以工厂为例，如果工人们按照上级管理机关的指令结合起来行动起来称为他组织，如果自发地产生结构并行动起来则成为自组织，即他组织是按照外在的指令形成的，自组织是由于系统要素间的协同作用而自发形成的。自组织理论是一个庞大的学科群，目前还未定型，还有

待于继续发展，甚至还会加入新的学科。耗散结构理论、超循环理论、协同学、相变理论、突变论、混沌学、分形几何等新的横断学科，作为自组织理论的组成部分，各自从不同角度出發，研究了自组织现象。

纵观整个科学史，可大体上划分成两个不同的时期，从中可以发现科学技术的发展导致人们的观念发生了很大变化。原来人们认为天经地义的信条，如自然界构造的简单性、时间的可逆性、变化的线性以及渐进性等开始站不住脚了，它们已经被或正在被新的概念，如自然系统构造的复杂性、不可逆性、非线性、突变等所取代。也就是说，经典的自然图景正在被自组织的自然图景所替代；与此相应，新的研究方法已经崛起。变化是多方面的，如果把这些转化一一加以梳理，可以总结为以下十个方面：

- 由简单性向复杂性转变；
- 由静态向演化转变；
- 由可逆性向不可逆转变；
- 由死结构向活结构转变；
- 由线性向非线性转变；
- 由渐变到突变；
- 由确定性到不确定性；
- 由矛盾分析到系统分析；
- 由处理精确现象到处理模糊现象；
- 由他组织到自组织。

下面对上述十个方面逐一加以分析：

1. 由简单性向复杂性转变

牛顿和其他科学家都相信，上帝是用数学语言创造了世界，世界的存在与发展都遵循着严格的数学规律。自然界是简单的、和谐的。复杂的事物都可以拆解为各个部分，分析完毕，再把它们组装起来就可以了。人们深信自然界的简单性原理，这几乎成了几

代科学家的共同信念。人们之所以长期相信世界的简单性，是因为人们观察世界的眼光、把握世界的手段都是简单的。然而，随着自然科学的进一步发展和自组织理论的出现逐渐打破了这一信念。人们渐渐地认识到自然系统的复杂，包括复杂结构、层次关系、结构失稳、走向有序、进入混沌等等。整个自然界本身并不是简单的，而是充满了各种复杂现象。

2. 由静态向演化转变

在牛顿经典力学占据统治地位的时期，人们对运动的研究主要集中于机械运动、距离运动等简单形式，还缺乏真正的演化观，还不曾真正明白发展一词的真谛。那个时期人们观念中的运动，不过是位置移动、天体运转之类，周而复始，既无根本性质的变革，又无历史意义上的演进。正如普里戈金所说：“经典物理学和量子物理学把世界描绘成可逆的、静态的。在这种描绘中，没有什么进化可言，既没有向有序的进化，也没有向无序的进化。”^①从热力学开始，历史的因素开始被引入科学研究，加上赖尔地质演化思想、达尔文生物进化论等等在科学界、思想界的逐步确立，演化和发展的观念开始深入人心。一些高瞻远瞩的哲学家，如康德、黑格尔、马克思、恩格斯等开始总结发展的本质，描述发展的一般过程，并进一步探索宇宙万物演化发展的原因。而新兴起的自组织科学则全面揭示了自然系统演化和发展的条件、动力和过程。

3. 由可逆性向不可逆转变

19世纪末，在热力学领域，时间箭头被引入科学研究中。时间，不再是一个无关紧要的普通参量，不再是与物质运动性质并无内在关系的外在参量，而是成为与物质运动、系统演化密切相关的内在变量、关键变量。随着时间之矢重要性的充分确立，不可逆的概念出现了。可逆与不可逆作为刻画事物演变过程的概念，可

普里戈金等：《从混沌到有序》第28页，上海：上海译文出版社，1987年。

逆指的是能够完全复原并消除原来过程对环境的影响的那些过程，不可逆指的是不能够完全复原或无法消除原来过程对环境的影响。在最普通的意义上，一滴墨水被滴入一杯清水中，墨水会逐渐散开，直至均匀状态，但这一过程的反演状态是不可能成立的，已均匀散布水中的墨水不会自动地凝聚起来变成一滴墨水。同样地，一根一端烧红的铁条，其温度会自发地由高端向低端传输，直至均衡状态，反过来传输也是不可能的，这就是不可逆。严格来说，自然界发生的一切过程都是不可逆的。就连经典力学研究的运动过程，在考虑了摩擦、阻力等因素后也是不可逆的，更不用说像热的传导、粘滞流动、化学反应、生物演进、社会运动、科技进步等复杂的自然或社会现象了。不可逆观念的确立，为真正的演化观奠定了基础。人们说，有了不可逆之后，存在的物理学才转化为演化的物理学。

4 由死结构向活结构转变

对客观事物的研究肯定要涉及到事物的诸要素，进而涉及到对要素间的结合方式——结构的研究。只不过最初人们看到的仅仅是结构本身，看不到结构的生成、演变、解体，看不到为维持结构的稳定，客体内部及其与外部环境间的物质、能量和信息的传递与交流。这时的结构近似于一种死结构，如晶体结构，一旦形成则凝固不变。普里戈金首次提出了耗散结构概念，完成了由死结构到活结构的转变。所谓耗散结构，首先要求是一个开放系统，其次是远离平衡态，第三是非线性相互作用，作为一个动态系统，它通过与环境交换嫡流，最终产生有序结构。这也就是说，由于科学的不断发展，现阶段人们眼中的结构，是一个活结构，是一个不断吐故纳新、新陈代谢的动态结构，既可以从自然系统中产生，也可以在自然条件的作用下解体。

5. 由线性向非线性转变

最初的各门自然科学，研究和描述的是事物间的线性作用

系。当人们用函数表示两个变量之间的关系时，因变量与自变量之间成比例地变化，即变化过程中二者的比值保持不变，称为线性函数，否则，称为非线性函数。如牛顿的公式 $F = ma$ ，如方程 $Y = X + 1 \cdots$ 自变量和因变量之间都是线性关系，自变量每有一个增量，因变量就相应地发生变化，而且这一相应变化是成比例进行的。非线性系统的两个变量，不满足叠加原理，不按固定比例变化，而且表现出非单调性、多值响应、滞后、非平庸行为等复杂特性。几百年来，各门自然科学大都只研究线性行为，排斥复杂的非线性现象 把它看作是“反常问题”、“不正常行为”。比如，“两体问题”满足线性方程 可以很好地加以处理；“三体问题”则较为复杂，涉及到宏观的无规运动。最初人们只能搁置这些“反常问题”，直到人们转变观念，寻找到处理这些复杂性的新方法。

6. 由渐变到突变

从无机界到有机界，自然系统中到处存在着呈连续性变化的各种渐变现象。人们比较早地观察到自然界中的渐变，而且发展出一整套数学手段来处理这类现象。以提出生物进化论而震惊世界的达尔文，在渐变和突变的问题上也同样热衷渐变，忽略突变。按照他的理论“，自然选择只能通过累积轻微的、连续的、有益的变异而发生作用，所以不能产生巨大的或突然的变化，它只能通过短而且慢的步骤发生作用。”^① 实际上，自然界中也存在大量的突变现象，从地震、火山、建筑物突然坍塌到社会领域中战争的突然爆发。虽然有一些哲学家在 19 世纪就开始探索突变现象，研究量变质变关系，但毕竟仅限于哲学领域。突变论开创了研究突变现象的先河，使科学研究从关注简单的渐变到进一步研究更为复杂的突变，从而进一步揭开了自然系统自组织的奥秘。

达尔文：《物种起源》第 310 页 北京 科学出版社，1972 年。

7 由确定性到不确定性

确定性和不确定性是一对矛盾。过去人们一直相信，确定性支配着事物的运动发展，不确定性只对事物产生小小的影响。科学研究的目的就是发现必然性，揭示出确定不移的自然规律。爱因斯坦也曾断言“上帝不掷骰子”。玻尔不同意爱因斯坦的观点，他认为量子力学领域不存在确定性的规律，二人为此争论了几十年。现在人们发现，不仅微观领域，就连社会经济、政治等宏观领域也存在不确定性，而且，它们还发挥着意想不到的巨大作用。协同学的创始人哈肯发现，“在政治或经济决策中，常常只是一个小小的涨落，比如一个意外，就将最终决定事件的发展方向。这种选择一旦做出，另一种选择就被排除，而且决定是无法逆转的。小小的涨落常常决定所作选择的性质。”^①类似巨涨落这种不确定性的作用，常常发生在事物的临界点。超循环论的创始人艾根认为“进化必定始于随机事件”，“生长过程自身也是统计涨落的过程。由于生长始于单拷贝，所以就必须考虑这种涨落，它们可能大大地更动决定论理论的结果。只有在有关大量物种的平均值情况下，决定论理论才有效。”^②现代自组织理论的发展，更加重视不确定性的作用，促使人们进一步思考确定性不确定性的关系。

8. 由矛盾分析到系统分析

在系统论尚未出现之前，人们把所研究对象的性质，看作是由两个既相互联系又相互对立的方面组成，然后从两者之间的矛盾关系入手，进一步分析和研究事物，这种方法称为矛盾分析法。早在古希腊文明时期，赫拉克利特就认识到，相互矛盾的事物彼此结合在一起，正是它们的相互对立和相互斗争关系造成了事物的运动和发展。古典时期的德国哲学家们也经常使用矛盾分析法，这一方法对于研究简单的事物非常适用。系统论思想出现之后，人

哈肯：《协同学》第35页，上海：上海译文出版社，2001年。

② 艾根等：《超循环论》，第263页，上海：上海译文出版社，1990年。

们研究的主要是复杂的事物。面对由多个要素组成的复杂系统，单单从两个方面分析事物是远远不够的。人们转而从事物整体，从事物的整体结构和功能，从整体结构和功能的演化转变等角度加以研究。

9. 由处理精确现象到处理模糊性现象

力学、天文、物理、化学等作为近代科学的主导学科，它们研究的都是无生命的机械系统，相对来说较为简单。人们认为对这类对象，既可以清楚准确地加以测量，也可以作非此即彼的二值逻辑判断。对这类对象无疑适合用精确的数学模型加以处理，其结果，经典数学不仅成了近代各门科学的基础，而且成了各门科学竞相模仿的对象，所有的自然科学都在拼命地数学化、精确化。但进入现代科学研究阶段之后，人们发现，生命系统、生态系统、社会经济政治系统等庞大而复杂的研究对象，既不能精确测量，也不适合做出非此即彼的二值逻辑判断。新诞生的模糊数学把二值逻辑中的是与否，分别记作 1, 0，并建立连续实数区间 $[0 \sim 1]$ ，这样它不仅可以在 $0 \sim 1$ 之间的所有实数中取值，而且可以对此进行定量描述和数学处理。结果，对年轻人、能力强、效益好等模糊现象，人们不仅可以判定一个对象是否属于它，而且还可以计算出隶属的程度。这无疑要合理的多，也精确的多。

10. 从他组织到自组织

近代科学革命以前，由于宗教神学占据统治地位，人们相信，整个自然界是由神创生的，自然界的演进也是按照神的指令进行的，也就是说，自然界是被组织的，是在神的旨意下他组织起来的。近代以来，随着科学的发展和神学的衰落，神创生、神组织的观念日渐势微。从牛顿的上帝是“第一推动”到拉普拉斯的“我不需要那个假设”，人们所理解的世界由被组织、他组织过渡到自组织。不过也不是所有的人都和拉普拉斯等人一样坚定不移，哈肯的表述最能表达人们的态度：“这里我们每个人都站在十字路口。人人

都有相信或不相信造物主的自由。一些人会说，我们至少可以从原则上理解，在物质领域中整个发展过程都是通过自组织形成的。而另一些人则会认为：……由于自然界的一切都是以如此完美的方式形成的，那就必然有一个造物主，最初制定了正确的规律，使以后的物质自组织得以实现。”^① 这只是说明，宗教作为一种信仰，作为一种文化氛围或传统，对人们发挥巨大影响。就算是在宇宙开端加上了上帝的名义，那也仅仅是一个虚名，没有任何实际意义。总而言之，自组织的图景已经崛起，并最终将取代神创论和形形色色的他组织观点。

第二节 自组织的条件

耗散结构理论是最早的自组织理论，它首先区分了平衡有序和非平衡有序，研究了耗散结构的定义和性质，探讨了产生耗散结构的条件 系统的开放性、不可逆性、远离平衡态、非线性相互作用等等。在这个意义上，我们说耗散结构理论是研究自组织系统的性质和产生条件的学科。

耗散结构理论是由比利时科学家伊里亚·普里戈金 I. Prigogine 于 20 世纪 60 年代提出的 由于这一成就 普里戈金获得了 1977 年诺贝尔化学奖。

耗散结构理论和方法的创立还要从热力学第二定律谈起。热力学第二定律揭示了能量转化的方向问题，即在封闭系统中热量总是从高温物体传到低温物体，不可能把热量从低温物体传到高温物体而不引起其他的变化；功可以全部转化为热，而热不可能全部转化为功。克劳修斯引入了一个状态函数熵 S ，如果一个物体的绝对温度为 T 该物体吸收热量为 dQ ，则该物体增加的熵 dS

哈肯：《协同学》第 225 页，上海：上海译文出版社，2001 年。

$=dQ/T$ 。对于一个孤立系统来说，熵总是增加的。当克劳修斯把这个定律推广到宇宙中去的时候，认为根据熵增大原理，随着太阳和其他恒星燃烧殆尽以后，有序的宇宙就会变为无序的宇宙，一切运动都会停止，一切都会走向死亡，世界的末日就会来临，这就是所谓的“热寂说”。

而后来的达尔文进化论则表明，同克劳修斯的理论不同，生命的演化是在向相反的方向进行的。达尔文认为地球上形形色色的生物都有共同的起源，生物的发展是由无序到有序，从低等到高等，从简单到复杂的方向进行的。

由此可见，两位科学家从不同的方面揭示了相互矛盾的世界演化趋势。究竟孰是孰非，长期以来，众多科学家一直争论不休。一直到普里戈金建立了耗散结构理论，从有序与无序转化的角度，才初步把进化论与热力学第二定律的矛盾统一了起来。普里戈金发现由克劳修斯从热力学第二定律引出的结论与达尔文创立的生物进化论存在着尖锐的矛盾。因为，热力学第二定律揭示了自然界普遍存在着可逆和不可逆两种过程，它告诉人们演化总是朝熵增加、向混乱的方向进行。可是，进化论则告诉我们生物的进化总是由低级到高级，朝熵减少、向有序的方向进行。前者给出了退化的时间箭头，而后者则与之相反，给出了进化的时间箭头。正如人们所说，普里戈金被科学在看待时间方法上的巨大矛盾惊呆了，正是这个矛盾促使他开始了他一生的工作。经过 20 多年的努力，他终于创立了一种新的关于非平衡系统的自组织理论——耗散结构理论。从热力学的观点看，耗散结构是指在远离平衡态的条件下，热力学系统可能出现的一种稳定化的有序结构。所谓耗散，指系统与外界有能量的交换；而结构则说明并非混沌一片，而是在时间与空间上相对有序。

一座城市就可以看作一个耗散结构，它不断有人和货物流入，同时也有货物和人不断流出。而且城市中不断地在完成各种交

易，人也按一定的秩序工作和生活，整个城市就这样得以稳定存在甚至发展。那么，什么样的系统才能出现耗散结构呢？普里戈金认为，只有在非平衡系统中，在与外界有着物质与能量交换的情况下，系统内各要素存在复杂的非线性相干效应时才可能产生自组织现象，并且把这种条件下生成的自组织有序态称之为耗散结构。普里戈金指出，一个系统向有序转化形成耗散结构至少需要四个条件：

首先，系统必须是开放的系统。开放系统是指与外界既有能量交换又有物质交换的系统，孤立系统和封闭系统都不可能产生耗散结构或耗散结构很快就会瓦解。对于开放系统来说，熵的变化可以分为两部分，一部分是系统本身由于不可逆过程产生的熵增加 记作 $d_i S$ ；另一部分是系统与外界交换物质和能量引起的熵交换 记作 $d_e S$ ，于是整个系统的熵变化即为：

$$dS = d_e S + d_i S$$

这说明开放系统只要外界注入足够的负熵流或系统向外排出足够的熵流，就能使系统的总熵减少，系统就会走向有序。

第二，产生耗散结构的系统必须包含有大量的系统基元甚至多层次的组分。例如，天空中的云包含有由水分子组成的水蒸气、液滴、水晶和空气，因而是含有多组分多层次的系统。至于形成化学钟的别洛索夫-札鲍廷斯基反应 其中就含有大量分子、原子和离子。不仅如此，在产生耗散结构的系统中，基元间以及不同的组分和层次间还通常存在着错综复杂的相互作用。

第三，产生耗散结构的系统必须处于远离平衡的状态。所谓非平衡态就是指系统离开平衡态后所处的状态。按其距离平衡态的“远近”，可把非平衡态区分为近平衡态和远平衡态两种情况。在近平衡态情况下，系统的热力学力和热力学流一般能够满足形关系，与平衡态没有性质上的不同，因而形不成耗散结构。当系统处于远平衡态时，系统的热力学性质就会产生非线性作用，从而

有可能出现新的性质，形成耗散结构。这表明系统虽走出了平衡态，但如果离平衡态不够“远”，也不会形成耗散结构。要想使系统产生耗散结构，就必须通过外界的物质流和能量流驱动系统使它远离平衡至一定程度，至少使其越过非平衡的线性区，即进入非线性区。而且，耗散结构也只有在非平衡条件下依赖于外界才能形成和维持。由于它内部不断产生熵，就要不断地从外界引入负熵流，不断进行“新陈代谢”过程，一旦这种条件被破坏，这个结构就会不复存在。

第四，耗散结构必须是在非线性相互作用中通过突变而产生的。普里戈金指出：“对于形成耗散结构的另一个基本特征，是在系统的各个元素之间的相互作用中存在着一种非线性的机制。”系统中必须有某些非线性动力学过程，如正负反馈机制等，正是这种非线性相互作用使得系统内各要素之间产生协同动作和相干效应，从而使得系统从杂乱无章变为井然有序。耗散结构之所以能在远离平衡态时产生，就是因为在这种条件下，非线性相互作用开始代替线性相互作用而居于主导地位。线性相互作用或者使系统逐渐回归定态，或者使系统无限发散下去，而不可能产生耗散结构。然而非线性相互作用却具有与线性作用不同的特点，它是时空不均匀的相互作用，各要素间的相互制约和耦合使元素独立性和线性叠加失效，从而使系统产生出整体性新质，形成耗散结构。

总之，耗散结构理论研究了自组织发生的条件，指出系统的发展过程要经过突变，通过能量的耗散与系统内非线性动力学机制来形成和维持与平衡结构完全不同的时空有序结构。这就是耗散结构理论的精髓之所在。一个系统要想在现实中获得存在与发展，必须不断地从外界引入负熵，以抵消系统内正熵的增加，从而确保对象不断地走向更高层次的稳定有序结构。

耗散结构理论的提出对自然图景的转变产生了深远的影响，引起了科学家和哲学家们的广泛注意。在耗散结构理论创立前，

自然被一分为二 其一是物理世界 这个世界是简单的、被动的、僵死的、不变的、可逆的和决定论的世界；另一个世界是生物界和人类社会 这个世界是复杂的、主动的、活跃的、进化的、不可逆和非决定论的世界。物理世界和生命世界之间存在着巨大的差异和不可逾越的鸿沟，它们是完全分离的，从而伴随而来的是两种科学、两种文化的对立。而耗散结构理论则在把两者重新统一起来的过程中起着重要的作用。耗散结构理论极大地丰富了自组织图景的内容，在可逆与不可逆、对称与非对称、平衡与非平衡、有序与无序、稳定与不稳定、简单与复杂、局部与整体、决定论与非决定论等诸多范畴的转变和关系深化中都有其独特的贡献。

第三节 自组织的动力

继耗散结构理论之后出现的超循环论则致力于在化学进化与生物进化之间搭建桥梁，研究了生命大分子的代谢、自复制、变异等特征，对自催化的复杂超循环系统的建立过程作了分析，从分子生物学水平上揭示生命产生的内在机制；协同学则在更普遍的意义上研究自组织的内在机制和动力 逐一揭示竞争、协同、支配、涨落等机制在自组织过程中的地位和作用。在这个意义上，我们说超循环论和协同学是研究系统自组织的内在机制和内在动力的学科。

超循环论是由德国物理化学家兼分子生物学家 M. 艾根在 20 世纪 70 年代创立的。超循环论是探究生命起源的奥秘与过程的重要理论，是研究化学分子和生物大分子进化过程的一种自组织理论。艾根这方面的主要著作有《物质的自组织和生物大分子的进化》、《生物信息的起源》、《超循环：一个自然的自组织原理》等。早期，艾根的研究工作成就，主要是成功地把弛豫技术引入到快速化学反应中，从而为快速化学反应的动力学及其机理研究提供了

一种新方法，并得到一系列重要成果。因此，艾根与其他两位科学家一起，于1967年共同获得诺贝尔化学奖。

按照艾根的超循环论，在生命的进化过程中主要经历了三个阶段：化学进化阶段，分子自组织进化阶段，生物进化阶段。化学进化阶段和生物进化阶段在科学界早成共识，人们猜测生命进化必然经历这两个阶段。艾根提出的超循环论则在这两个阶段之间加上了一个中介阶段——分子自组织进化阶段。而且他在为中译本所写的序言中特别指出：“分子生物学的研究成果为达尔文的进化论提供了新的、物理学的牢固基础。核酸的复制动力学——一种借助于模型推演出任何生物繁殖所依赖的聚合过程——已经被当作某种重要的进化现象进行定量描述的新的途径。”^①

艾根认为，达尔文的自然选择原理不但适用于生物进化阶段，它同样适用于大分子水平上的进化阶段。所不同的是，在分子水平上产生达尔文行为的必要条件是：代谢，包括能够自发进行的合成代谢与分解代谢，这是系统利用物质与能量的过程。自复制，竞争中的分子结构必须具有指导自身进一步转录自我的能力，这是系统保持和积累信息的机制。变异，变异意味着产生新信息，意味着提供了适于系统生存的突变机会，变异也是系统进化所必需的。

这三个方面的条件结合在一起，共同发挥作用。也就是说，许许多多具有代谢功能、不断自我复制、又不时发生变异的化学分子和生物大分子组织，在适应环境的竞争性生存活动中，也同样遵循着“自然选择，适者生存”的规律。作为化学进化阶段与生物进化阶段的中间过程，在分子自组织进化阶段中，原始生物分子一方面要产生、复制和积累信息，另一方面要选择、变异和进化，从而一步一步地组织和结合起来，形成一定的细胞结构。在艾根看来，这一定是一种自催化的超循环过程。

艾根、舒斯特尔：《超循环论》第1页，上海：上海译文出版社，1990年。

化学上的所谓循环反应，指的是“考虑一个反应序列，其中的每一步产物，无论是否有附加的反应物的帮助，都要经历进一步的转变。如果在这个反应序列中，所生成的产物与上一步的一个反应物相同，那么此系统类似一种反应循环。”^①很明显 这样的反应循环在整体上就相当于一个催化剂。反应循环是一种低组织水平的循环，整个反应的速率较低，它的产物只能随时间线性增长。

考虑一个化学反应的循环过程，如果它的反应催化剂不是外来的，而是本身就存在于它的反应循环过程中，也就是说，至少有一个中间产物，也可能是所有的中间产物，它们自身就是催化剂，那么这种反应循环就称为自催化反应循环。所谓超循环，就是指由二级或二级以上自催化反应序列所组成的超级反应过程，也就是说，超循环是由自催化剂或自复制单元通过功能的复制藕合而不断延续的高级循环系统。在超循环过程中，每个复制单元既能指导自己不断复制，又能对下一步反应起到催化作用。因此，超循环的反应速率是相当惊人的，其产物是按双曲线增长。艾根在文章中还以单链 RNA 的复制机制为例，分析了这个复杂的四元自催化循环，其中，正链和负链作为互相复制的模板中间物，三磷酸核苷作为高能原料，焦磷酸是代谢产物。艾根认为这是一个具有很大生物重要性的超循环结构。

通过对自复制系统中的各种功能连接进行比较研究，发现超循环系统要求所有成员相干地生长和进化，而不仅仅是共存共生。概括起来，超循环系统具有以下 7 个方面的显著性质：

它使得通过循环而连接起来的所有物种稳定地、受控地共存。

它允许它的所有成员彼此间相干地生长。

此超循环与其他任何不属于此循环的单复制单元处于竞争之中。

艾根、舒斯特尔：《超循环论》第 12 页 上海 上海译文出版社，1990 年。

超循环其大小可以放大或缩小，如果这种变更能提供任何选择优势的话。

在更高级的网络中，超循环不容易被连接起来。两个组织度为 p 的超循环，为了相互稳定而需要组织度为 $2p$ 的藕合项。

超循环的内连接和协同性质，能够使系统不断向优化功能进发。

一个超循环，一旦建立，就不容易被新来者所取代。在任何一个普通的达尔文系统中，提供了某种选择优势的突变体，容易生长起来，并得到确立，而且这种选择与确立同物种种群的大小无关。超循环系统则有所不同，由于超循环的内在的非线性性质，它的选择优势总是其群体数的函数。因此，一旦建立则不易被取代。

所有这些性质，使得超循环成为一类独特的自组织化学反应网络。除了二级耦合超循环，还有更高级的藕合超循环，他们一步一步地组织起来，运转起来，需要所有的成员协同行动。不过，只要进化到这样一种程度，即具有高度复制精确度的酶机构一旦建立起来，将整合系统个体化为活细胞形式，超循环就消失了。处于生物进化阶段的个体化的复制系统，就具有了高得多的进一步多样化和进一步分化的潜在能力。此外，艾根等人还使用马尔可夫链、李亚普诺夫方程、博弈论等数学手段，甚至还应用了计算机试验，来进一步研究生物分子的演化过程。

艾根把超循环系统抽象为一组复杂的微分方程，以选择和进化作为系统的动力学行为，以使用严格的数学方法加以研究。艾根相信，超循环系统和其他自组织系统一样，它必定开始于随机事件，发端于随机过程。“无论开端的确切含义是什么，在开端处一定存在着分子的混沌，即在极其多种多样的化学物种中不存在任何功能组织。所以，与生命起源现象相联系的物质的自组织，必定

始于随机事件。”^①但这并不是说，偶然性决定一切。只要条件具备，分子水平自组织的出现虽不是决定论的，但却是不可避免的。在必然性和偶然性的关系问题上，艾根是理智而谨慎的。在他看来从分子生物学的观点上说，决定论者“上帝不掷骰子”和非决定论者“偶然决定一切”的观点都是不正确的。

协同学是德国物理学家赫尔曼·哈肯在研究激光理论的基础上，受耗散结构理论和超循环论的启发于 20 世纪 70 年代初提出，1977 年正式问世的。协同学是研究协同作用的科学，它研究的是由大量子系统如光子、电子、原子、分子、细胞、器官、动物、人等构成的系统，如何通过子系统的协作而形成宏观尺度上的有序结构。

在物理世界中，微观粒子在一定条件下能呈现出许多合作现象。例如水蒸气在高温下，它的分子互不相关地自由运动。当温度降低时，它们形成液滴，分子互相之间保持一个平均距离。因此它们的运动是高度相关的。在更低的温度凝固点处，水将转变成冰的晶体，分子完全以固定的秩序排列。不同的聚集态虽然始终包含的是同一类分子，但是三个相的宏观特征极为不同。

再如，当一块铁磁体被加热时，它会突然失去磁性。温度降低时，这磁体又会突然地重新获得磁性。我们可以设想，从微观的原子层次看来，磁体是由许多元磁体组成的，在高温下元磁体指向是无规则的，不形成宏观磁矩。在临界温度以下，元磁体排列成行，产生宏观磁矩。因此，微观层次上的有序是物质在宏观层次出现新特征的原因。

激光的研究对协同学的产生具有重要意义。当外界输入激光器的能量不高时，激光器里粒子的运动状态是无序的，它们彼此独立地发出一系列不相干的光波，这时，激光器就像一只普通的灯，发出的光是相位和方向都没有规则的自然光。当外界输入激光器

① 艾根·舒斯特尔：《超循环论》上海译文出版社 1990 年版 第 212 页。

的能量达到一定强度以后，激光器里粒子的运动状态变成有序状态，原来发出的波长不同、方向各异的自然光转换成波长相同、方向一致的激光。如果输入的功率再增大到一定值时，激光棒就会发射出规则的短脉冲，其宏观性质又一次发生了剧烈的变化。

哈肯在深入研究激光理论的过程中，认为在合作现象的背后一定隐藏着某种更为深刻的普遍规律。在研究了大量的类似现象以后，1969年哈肯首次提出协同学这一名称，并于1971年与格拉哈姆合作撰文介绍了协同学。协同学指出，从无序到有序的自组织都是大量子系统之间协同作用的结果。一个稳定的系统，它的子系统都是按照一定的方式协同地活动，有秩序地运动的。当一个系统受到外来因素的影响时，原来的次序被破坏了以后，系统里各个子系统就会在彼此间的合作与竞争过程中最终使系统出现统一的占支配地位的宏观运动和行爲，在另一种秩序下稳定下来。系统表现出的这种有序的宏观运动形式称为模式，而描述系统宏观有序行为的参量即序参量。例如，激光系统的光场强度就是序参量。只要某个参量在系统演化中从无到有地变化，并能指示出有序结构的形成，它就是序参量。当泵源功率很小时，各原子随机取向，不存在协同作用，光场强度仅在零值附近涨落；当泵源功率到达阈值时，大量原子通过协同作用迅速取一个方向发出激光，出现了宏观有序行为，光场强度一旦出现即成为支配所有子系统行为的因素，并使系统进入有序化的自组织过程。

一个自组织系统，当控制参量逼近临界点时，系统内部的各个子系统、各种状态变量对系统的影响是有差异的。有一类变量随时间变化很慢，到达新的稳定状态所需时间较长，因而称为慢变量或不稳定变量；相反，另一类变量随时间变化很快，到达新的稳定状态所需时间很短，因而称为快变量或稳定变量。慢变量由于表现出临界无阻尼，不仅没有衰减反而成为一种决定系统行为的新模式，所以在系统的自组织过程中起着决定作用；而快变量阻尼

大，尚未影响系统就衰减了，竞争的结果是长寿命子系统支配短寿命子系统，慢变量支配快变量，整个系统的自组织常常被为数很少的慢变量所决定，这就是协同学的支配原理。慢变量也就自然成为支配系统从旧的稳定状态到达新的稳定状态从而产生新的有序结构的序参量。哈肯还从热力学引进了绝热消去方法，将不能左右系统演化的快变量消去，从而导出仅含少数几个慢变量的系统（序参量）演化方程。支配原理和绝热方法在运用中交相辉映、相互促进，成为协同学中重要的思想和方法。

协同学还研究了涨落的作用。所谓涨落，就是由于系统内部子系统的独立运动和环境条件的随机干扰，宏观参量会偏离平均值而出现不断的波动。当接近临界点时，涨落现象更加强烈，一旦超过某种阈值，就会发生相变。正是在涨落力的推动下，系统才能在临界点上实现由旧结构向新结构的跃迁。系统对不同分支的选择也是由涨落决定的。

协同学是哈肯在发现了完全不同的系统之间都有极其相似之处这样一个原理的基础上，采用类比的方法建立起来的。哈肯通过类比发现了“完全不同的系统之间的深刻的相似”。他在激光研究的过程中发现，当温度降低到某一阈值时，金属电阻突然变为零的一维超导现象与连续多模激光的形成有着同样的数学方程，进而他又研究了很多学科中的非平衡有序结构形成的现象，如“涡流问题”、“时间震荡”等等发现所有系统从无序向有序变化时呈现非常相似的行为，遵循着同样的方程和规律。这样，人们就可以通过类比从已知系统的规律推广到未知系统，从而认识未知系统的规律。正如哈肯所说：“类比的好处是显而易见的，一旦在一个领域里解决了问题，它的结果就可推广到另一领域，一个系统可以作为另一个不同系统的模拟计算机。”由于无论什么系统都是大量子系统之间相互作用而又协调一致的结果，所以都可以用这种理论和数学模型进行处理。正因为如此，协同学才具有普遍的意义和

广泛的用途。正如哈肯在《协同学》中最后指出：“协同学是一门很年轻的科学，有许多惊奇的结果还在我们前头。”

第四节 自组织的方式

相变理论是物理学的一个分支，研究的是自然界中大量存在的平衡结构的形成和演变，如铁磁相变、气液相变等，提出了著名的临界点、临界指数、涨落、关联等概念。突变论则关注各种突变现象，通过揭示突变的本质、形式、性质等，揭示了系统自组织的方式。在这个意义上，我们把相变理论和突变论称为研究系统自组织的方式和形式的学科。

突变论是由法国数学家 R. 托姆于 20 世纪 70 年代创立的。英国数学家 C. 齐曼也作出了杰出贡献。托姆是一位享有盛名的数学家，曾获得国际数学界的最高奖——菲尔兹奖。他于 1972 年发表的《结构稳定性与形态发生学》一书，标志着突变论的正式诞生。作为一门新的数学分支，突变论运用拓扑学方法，研究和描述了自然界中的非连续性的突变现象，为复杂性研究开辟了新的研究领域，也为耗散结构理论、协同学等提供了新的数学手段。目前，突变论在化学、物理、生物、经济等学科以及工程技术等领域得到广泛应用，获得较大反响。

突变论首先界定了突变概念。那么，什么是突变呢？我们知道，自然界存在着两种演化方式，一是如植物生长、人体发育这样一种逐渐发生、连续的、不间断的过程，一是如火山爆发、桥梁断裂这样一种短时间内突然发生的、剧烈的、间断性过程，前者称为渐变，后者称为突变。应该指出的是，渐变和突变的根本区别，不在于他们是长时间的变化还是瞬间的变化，也不在于变化的程度是平缓的还是剧烈的，关键之点在于这种变化是连续的还是非连续的，是连续过程的平稳延续还是连续过程的突然中断。

在比较了渐变与突变之后，托姆进一步区分了两种意义上的突变：普通意义上的突变和突变论意义上的突变。普通意义上的突变指的是原有系统遭到破坏并不可逆转地让位于另一个系统，如草地在干旱的作用下转变为荒漠，草地已不复存在。而突变论意义上的突变则是指由于系统内各因素的相干作用，该系统在某一支点上发生了“突跳”并且这种“突跳”使系统脱离了通常的特征状态，跃迁为意想不到的新状态，原有系统并没有被消灭，而是继续生存下去，例如股票市场暴跌，由牛市急转直下，跌为熊市，股票市场照常存在，只是状态发生了变化。突变论重点研究的不是普通意义上的突变，而是突变论意义上的突变。托姆的突变一词不同于居维叶的“灾变”。居维叶的“灾变”指突发性的原因引发突发性的结果，同时这一突发事件至少对于现有生物来说，是毁灭性的。而托姆研究的是连续地起作用的原因所导致的不连续现象，而且这种现象不一定是灾难性的，或许更多的是建设性的、有益的。应当指出的是，研究不连续现象的数学手段不仅仅是突变论，离散数学也是描述不连续现象的。只不过离散数学所描述的过程本身是不连续的，是离散地起作用的力或离散地采样所造成的不连续结果。而突变论研究的是连续地起作用的原因如何突如其来地带来了不连续的结果，它们的突变机制、方式以及所遵循的规律是什么等等。

突变论的基本概念除了突变之外，还有“势”、“平凡点”、“奇点”、“吸引子”等等。所谓“势”原本来自于力学的“势能”，指事物因处于某种状态而保有的某种“位置能”。推而广之，“势”是指由系统内部各要素的相互结合、相干作用以及系统与环境的交互影响而保有某种趋向或采取某种趋向的能力。突变论研究的都是各种有势系统，系统的势是通过外部控制参量和内部状态变量加以描述并研究的，也就是说，系统的势是系统行为变量的函数。因为势函数包含了所研究系统的重要信息，所以势函数被用来描写系

统稳定性。所谓系统的稳定性不是指系统结构不发生任何变化，而只是指系统具有一定的抗干扰能力，在外界干扰下，当系统偏离了稳定态时，能够依靠内部因素的相干作用排除干扰，返回稳定态。

“奇点”是数学上的一个重要概念，它是相对于平常的不引起系统行为变化的‘平凡点’而言的。换言之，奇点是系统行为变化的临界点、突变点，在用数学工具描述系统演变的过程中，并不是所有的‘点’都具有相同的重要性。那些不引起系统行为突变的点被称为‘平凡点’，而引发系统行为突变的临界点则称为‘奇点’。换言之，连续变化的原因引发不连续的结果，这一“突跳”就发生在“奇点”上。

“吸引子”是系统演化所趋向的极限状态，大致可以分为三类：极限点、极限环和各种环面。吸引子一词指的是在演化过程中，系统仿佛是被“吸引”一般，总是不由自主地趋向于某种极限状态。这种使系统不断趋近的极限状态就被称为系统的“吸引子”。按照托姆的定义，给定一个吸引子 A，动力场中趋向于 A 的轨线集合，便构成相空间中的一个区域，此区域被托姆形象地称为吸引子 A 的“洼”。

由于突变现象转瞬即逝，如果采用传统的时间维度，对突变现象是极难把握、极难认识的。为此，托姆另辟蹊径，转而从系统的稳定性出发，把一个动态的时间突变问题，转变为系统各种突变行为集合所构成的静态结构问题。突变论用势函数表征系统的稳定性，并把突变看作是两个不同稳定态之间的跃迁，然后借助数学手段寻找使系统结构不稳定的“奇点”类型和条件，然后进一步从量的角度出发，以拓扑学为主要手段，研究了各种间断性的突变现象。

经过研究，托姆划分了初等突变论的基本模型。托姆发现系统在其控制参量不超过 4 个的情况下，所表现出来的突变模型有

以下 7 种,它们分别是 折叠型、尖顶型、燕尾型、蝴蝶型、双曲脐点型、椭圆脐点型、抛物脐点型等。在其模型构造完毕并加以定义之后,相应的,托姆还分别给出了各种突变类型所遵循的数学公式,并研究发掘了各种模型在突变过程中所表现出来的若干特点、总体趋势。通过研究,托姆还发现,若系统的控制参量大于为 5 时,则其突变类型增加为 11 个 除上述 7 种,还包括印第安人茅舍型、第二椭圆脐点型、第二双曲脐点型、符号脐点型 4 种 并一一给出了描绘其突变过程的数学公式。

突变论另一重要人物齐曼在 1972 年发明了一种突变示教机构,利用它可以形象地构造和研究突变现象。在此,我们仅以尖顶型突变为例,说明突变所表现出来的几个特征。

(1) 多稳态或多模态

在各种突变类型中,除了折叠型突变是个例外,只有一个稳定态,其他突变类型都有两个、三个甚至更多稳定态。尖顶型突变是双稳态,可以发生从一个稳态向另一个稳态的转变。

(2) 滞后性

滞后性是说突变不是发生在进入不稳定区域的开始,而是还要拖后一段时间,直到进入不稳定区域的另一条边缘时才会发生。

(3) 突跳性

突跳性是说控制参量的微小改变,会导致状态变量的很大变化,结果是使系统从一种稳态突然跃迁为另一种稳态。尖顶突变的这种转变是突然发生的,因而称为突跳。

(4) 不可达性

在不同的稳定态之间存在着不稳定态。它们是不可实现的定态,即不可能达到的定态,这种特征称为不可达性。不可达性是突变的普遍特征。

(5) 发散性

发散性是指在奇点附近,演化轨道对控制参量变化路径的

感性、不稳定性。在奇点附近，两条相当接近的控制参量轨线，可能导致状态量终值的重大变化。系统这种对控制参量轨相扰动的不稳定性，叫做发散。

在突变理论出现之前，人们误以为，自然界和人类社会中的渐变现象比比皆是，而突变现象则少而又少，同时还认为，有些突变现象有巨大破坏作用因此应加以消除和避免。实际上，随着人类认识能力的不断发展，人们认识到，自然界与社会生活中充满了突变过程 而且在许多场合 渐变与突变交替出现 也就是说 连续性现象中存在着突变过程，突变过程中也会出现连续性演化。用哲学语言来说 量变与质变相互交融、相互贯通、相互转化。然而 哲学的语言只是一种概括性的定性描述，还缺乏对突变现象的定量研究，缺乏准确的数学分析。突变论的出现，很大程度上弥补了这一缺憾，在开创了人们对复杂性研究的崭新领域的同时，又为耗散结构理论、混沌学等自组织理论提供了数学手段。

第五节 自组织的道路

在耗散结构论、超循环论、协同学纷纷登台，从各自不同的学科背景、从各自独特的视角出发，研究了系统从无序到有序的演化图景之后 对于与之相反的现象 例如组织的涣散、结构的解体、从有序到“无序”等等现象的研究自然也就提到了议事日程。一批走在前列的科学家，如柯尔莫戈罗夫等从力学角度，洛仑兹从气象学角度，费根鲍姆从数学角度出发，分别研究了混沌现象。而混沌学被定义为研究混沌的特征、性质、发生机制以及如何利用混沌机制的理论或学科。

从科学的意义上，最早触及混沌现象的是 19 世纪末著名科学家彭加勒，他对三体问题的研究已经涉及到这种宏观上的无规运动。作为一门学科，混沌理论发端于 20 世纪 60 年代 首先 柯尔

莫戈罗夫、阿诺德、莫什尔关于哈密顿系统运动稳定性的研究提出著名的 KAM 定理；洛仑兹关于一类耗散系统动力学行为的数值分析，发现了具有非平庸吸引子的第一个模型；1964 年伊农等人发现一个自由度为 2 的不可积哈密顿系统在一定条件下表现出貌似无规的运动；1971 年，茹勒、泰肯第一次提出奇怪吸引子概念，描述了湍流发生的新机制——茹勒—泰肯道路；1975 年李天岩、约克首次提出混沌概念；1978 年，费根鲍姆从一维映射中发现关于混沌现象的标度和普适常数，把重正化群技术引入了这一领域。至此，混沌理论广受重视，许多来自不同学科的学者纷纷加入进来，使混沌学成了一个空前活跃、新成果不断涌现的科学前沿。

混沌一词，在日常口语中指因既无结构又无规则所造成的混乱、杂乱、无序等这样一种状态。这并不是科学意义上的混沌。

近代科学的发展使人们一直深信，宇宙是和谐的、简单的、有序的，有的科学家甚至说过“假定有上帝的话，上帝一定是按‘数学方式’构造了世界。对宇宙简单性、和谐性的信念使人们一直不由自主地排斥无序、拒斥混沌。人们相信，混沌就是乱作一团，混沌是不好的、是应竭力避免的。但科学发展到今天，人们真切地认识到，混沌状态只是貌似无序的混乱，并不是绝对的无序、混乱。下面是日常生活中的一个例子。一个学者的书房，在他爱干净、爱整洁的太太看来，简直乱极了，各种书籍、杂志胡乱摆放，纸张、报刊、铅笔、尺子到处都是，一点都不整齐，于是，她好心好意地加以整理，直到一切都显得整整齐齐。然而，学者回来后却不断抱怨太太把他的东西弄乱了，他找不到所需要的资料了，而原本它们就在手边。可见，对于学者本人，貌似无序的书房却有着他所习惯的内在秩序。

那么，到底什么是混沌呢？让我们来看一个比较有代表性的定义。曾以著名的蝴蝶效应而闻名于世的气象学家洛仑兹曾说过：“我用混沌这个术语来泛指这样的过程——它们看起来是随机

发生的而实际上其行为却由精确的法则决定。”^① 为了从科学角度分析混沌现象，我们必须区分两种不同性质的混沌：平衡态混沌和非平衡态混沌。平衡态混沌是指系统处于平衡态时所呈现出的混沌现象，如热力学中，当一个孤立系统中的气体分子最终达到平衡态时，不存在任何有序运动，每一个分子都处于杂乱无章的运动之中，每个分子的运动轨道都不可确定，同时人们也无法断定任何一个分子在下一时刻的运动状态，我们可以说，系统处于平衡态混沌。非平衡态混沌研究的是开放系统在远离平衡态的非线性区域，系统的演化规律是确定的，然而却呈现出宏观的无规运动，得到完全随机的结果。

混沌学所研究的混沌现象主要是第二类混沌，即非平衡态混沌，也有人称为非线性动力学混沌。这一类型的混沌主要表现出这样几个基本特征：

1. 确定性系统的内随机性

混沌是某些确定性系统的行为，是不加任何外在随机因素就可以出现的复杂的、不可预测的运动状态。确定性系统一旦进入某个特定区域，系统的定态行为就会相应地转化为混沌行为，这种混沌行为本身是不确定性的，随机的。这种随机性不是来自于环境扰动等外在因素，而是来自于系统本身，是一种内在随机性。因而对于这一类现象，可以用确定性的微分方程或迭代方程加以描述。例如彭加勒的三体问题（三个变量的非线性系统），我们可以根据万有引力定律列出三个物体的演化方程，方程的形式是完全确定的，然而其各个物体的演化轨道却是杂乱的、无序的，完全不可预测的。

2. 对初始条件的敏感依赖性

混沌的一个主要特性，就是对初始条件的敏感依赖。系统初

洛仑兹：《混沌的本质》，气象出版社 1997 年版 第 3 页。

始值的任何一个微小误差，就会引发系统行为的巨大改变。我们知道，在任何一个线性系统内，小扰动产生小偏差，只要扰动值测定，就可以计算出偏差的大小与范围。然而对于具有内在随机性的系统而言，情况完全不同，任何细小差别都会出现“失之毫厘，谬以千里”的情形。任何一个真实的确定性系统，给定的初始条件必定是近似的，不可能不存在任何微小误差。系统对初始条件的极端敏感和极度依赖，导致人们只能了解系统短期行为却无法对系统长时间的行为做出预测。洛仑兹通过对天气变化情况的研究，发现从几乎相同的出发点开始，由计算机得出的不同天气模式之间的差别越来越大，最终相去甚远。用“蝴蝶效应”加以比拟，就是：南美洲亚马逊丛林中的一只蝴蝶偶尔煽动了几下翅膀，或许几天过后，会在美国的德克萨斯州引发一场暴风雨（此为一说）。

3. 混沌运动的非周期性

混沌运动一定是非周期性的，它不是通常意义下的有序运动，不具备周期性和其他明显对称特征。有的学者认为，对于某些参量值，在几乎所有的初始条件下，都将产生非周期动力学过程。混沌运动是一种典型的非周期运动，它是对周期运动的否定，是周期性运动的对称性不断破缺的结果。例如水从有序运动的平流变为湍流，本来有周期、有节律的运动突然丧失周期和节律等等。

4. 存在“混沌序”

混沌区的系统行为并非真的完全混乱，它只是表面上或宏观上看起来混乱无序，内部或微观上看起来却存在着奇异的结构，非周期性与周期性难分难解地相互交叉、相互纠缠在一起，混沌行为是一种非平庸的有序。混沌内部具有分形结构，分形结构意味着系统内部存在着奇异的无穷嵌套自相似结构。

混沌融周期性与非周期性、对称性与非对称性、有序与无序等于一体，实际上是一种更高层次上的“有序态”。

自然系统中既存在从无序到有序的演化，也存在从有序到混

沌的演化，从无序到有序再到混沌，并且在一定条件下可以相互转化，这就是系统自组织的道路。

混沌是怎样产生的？系统怎样从有序进入混沌？这是混沌理论从一开始就十分关注的问题。进入混沌要受到吸引子的吸引。所谓吸引子是那些描写系统状态的参量所构成的状态空间即相空间中某些点或点的集合，它们代表系统稳定状态，对系统的运动轨线具有吸引作用。如前所述，有序演化理论中的三种形式的吸引子——极限点、极限环、各种环面，都属于平庸吸引子。其中点吸引子意味着系统最终将稳定在一个平衡态上，极限环意味着系统将稳定在一个周期振荡的过程状态上，环面则意味着系统将稳定在一种准周期的运动状态上。混沌现象也存在吸引子，混沌吸引子与平庸吸引子不同，它既非极限环，又非环面，更不是简单的极限点。所以人们又把混沌吸引子称为奇异吸引子、奇怪吸引子、分形吸引子，这是由于它本身与通常的吸引子——平庸吸引子不同表现出一些奇怪的行为。混沌吸引子呈现出独特的矛盾现象，从整个相空间看，系统从任一初始状态开始的运动在经历一段时间以后都会向吸引域集中并进入吸引子，但是进入吸引子之后，两条相距非常近的轨线会迅速分开，出现不可思议的发散现象，使系统呈现出随机运动的特性。平庸吸引子的维度都是整数，如点是零维，线是一维，面是二维；混沌吸引子却具有分数维度或非整数维度，例如控制参数为 1.4 和 0.3 的伊农模型的吸引子是 1.26 维等。

非线性系统通往混沌的道路有多条，有的学者甚至断言“条条大路通混沌”，到目前为止，在这一方面研究得较为成熟的有以下三条道路：

1. 茹勒—泰肯道路

早在 19 世纪末，彭加勒就发现，三体相互作用会进入混沌。茹勒、泰肯的研究发现，只要 3 个或以上的不可约频率成分的准周期运动，可以直接失稳而进入混沌。所以，茹勒—泰肯道路又称为

准周期失稳道路。当系统内有不同频率的振荡相互耦合时，系统就会出现新的耦合频率的运动，以致形成无穷多个频率的耦合，系统由此进入混沌。此时混沌状态可以看作是有无限多个频率耦合的振动现象。通过准周期失稳进入混沌的具体方式十分复杂，所以这条道路还有许多问题尚未弄清。

2. 倍周期分叉道路

有序的周期性行为，随着控制参量的改变，原有周期不断加倍，最终丧失周期行为，而进入混沌，这就是倍周期分叉道路。例如，一个非线性的电子电路，输入电压低时，输出电压频率与输入电压频率一样；但随着输入电压的增加，输出电压的频率会经历二分频、四分频、八分频、十六分频……的变化。当输入电压继续增加达到一个特定阈值时，输出电压会具有各种频率，并相互套叠，丧失周期性行为，进入混沌。倍周期分叉是经过树枝状分叉进入混沌的，系统经过倍周期分叉进入混沌较有规律，可以用数学方法加以描述。1978年，混沌学的著名人物费根鲍姆发现，系统在不断地倍周期分叉时，相邻的两个叉对应参数之差的比值取极限时，趋于一个常数 $4.669\ 2\dots$ 分叉宽度的比值约为 $2.502\ 9$ 这是两个普适常数，人们称之为费根鲍姆常数。它表明越往后分叉越多，间距越短，走向混沌越快。这条道路也称为费根鲍姆道路。

3. 阵发混沌的道路

在非平衡系统的非线性区，某些参数的变化达到临界阈值时，系统就会出现时而有序、时而混沌的随机振荡，周期运动与混沌运动随机地交替出现，一阵周期，一阵混沌，混沌所占的时间越来越大，最后完全变成混沌。例如，还是一个非线性电子电路，在增加输入电压进入混沌状态后，如果继续增加电压，混沌区内就会突然出现有序，呈现出三分频态。在三分频态下，反向改变控制参数，减少输入电压，到临界阈值附近，系统会出现时而三分频周期，时而混沌的状态，表现出阵发性混沌；当参数超过临界值时，系统进

入完全混沌。

混沌学的研究成果和蕴含的方法给人们带来不小的冲击，然而这门学科仍然年轻，远未形成完整的体系，希望它会有新的突破性进展，以真正揭开自然界的复杂性和系统自组织演化的美妙图景。

第五章 自然的形成图景

自然是永恒的物质存在，但自然系统的组分、结构却始终按照自然运动的规律处于变化之中，我们的宇宙有一个形成和发展的过程。根据现代自然科学提供的材料，我们可以描述自然系统历史发展的大致图景——从宇宙生成一直延伸到我们人类自身。

第一节 宇宙的起源

康德曾说：“世界上有两件东西能够深深地震撼我们的心灵：一件是渺远的灿烂星空，另一件是我们心中崇高的道德律令。”宇宙学这门既古老又年轻的科学，是研究宇宙的结构、运动与演化的科学。它以其自身的魅力使人们孜孜不倦地深究其奥秘。20世纪以前，关于宇宙的理论大多属于哲学思辨，基本上缺少具体的定量分析研究。对于宇宙的本原、宇宙结构、宇宙时空观等问题，古人通过玄思对其作了初步探讨。在古代中国，我们的祖先提出了盖天说、宣夜说、浑天说，探索了我们所生活其中的宇宙的结构。战国时期的尸佼提出“四方上下曰宇，往古来今曰宙。”在欧洲文明发源地的古希腊，许多先哲们对宇宙的本原也提出了众多见解。但当时的人们凭借直观经验所能把握的宇宙总是有限的。我们的

想象可以超越经验，可以用经验能够接受的推理方法来把握宇宙的无限，但这种无限只能是在逻辑和想象层面上的，在当时人们还无法通过观测得到验证。

20世纪以来 随着分光方法、光度测量方法、射电望远镜等技术手段的应用，扩大了天文观测范围，射电望远镜所能观测的最远距离已达到 160亿光年。观测技术手段的进步与广义相对论等物理学理论的发展，使观测宇宙学和理论宇宙学突飞猛进，宇宙学发展到了现代阶段。

爱因斯坦为了消除 19世纪天文学关于宇宙的光度佯谬和引力佯谬，于 1917年发表了他第一篇关于宇宙的研究论文——《根据广义相对论对宇宙所作的考查》。该篇论文提出了第一个现代宇宙模型——一个有体积而无边界的静态宇宙模型，为现代宇宙学的建立奠定了坚实的基础，成为现代宇宙学的先声。通过分析牛顿时空观的矛盾，爱因斯坦根据广义相对论提出有引力场的空间是弯曲的黎曼空间而远非平直的欧氏空间，空间的曲率取决于物质的密度。在推导新的宇宙模型时，爱因斯坦首先作出了一个近似性的假定——宇宙学原理或哥白尼原理。该假定从大尺度考察，认为宇宙间的物质分布是均匀且各向同性的。随着宇宙学的发展，它逐渐成为此后许多宇宙模型的基本前提。爱因斯坦受到当时观测资料的限制，延承了牛顿时代就已经存在的传统观念，认为宇宙从整体而言应该是处于静止状态。然而，爱因斯坦无论如何也无法从广义相对论引力场方程中得到这样的解，以至于为了得到宇宙的静态解而不惜破坏了其理论的完美性，在广义相对论引力场方程中引进了一个所谓的“宇宙学常数”，使它起到斥力的作用，以与宇宙引力相平衡，从而使宇宙保持静止状态。爱因斯坦求解这一经过修正的广义相对论引力场方程，建立了一个有限无边的静态宇宙模型。

爱因斯坦的宇宙模型可看作是四维空间中的一个三维超球

面,它具有有限的空间体积,并且自身闭合,近似于球面空间。在庞大的空间内,天体均匀地分散于其中。该宇宙模型提出之初,很难为人们所理解,许多人对此提出了质疑,至今许多对非欧几何感到费解的人,还在责难这种有限无边的宇宙模型。实际上,爱因斯坦所提出的宇宙模型是没有外面的。因为若是有外面,则势必会有里面,里外之间就会有边界。然而这一宇宙模型没有边界,空间中的任何点都是等价的,即不靠近中心,也不靠近边缘。爱因斯坦模型犹如一个空心球体,爱因斯坦宇宙模型既不是空心球体的内部,也不是空心球体的外部,而是空心球体的表面。若是沿着球体表面走下去,那将永远遇不到边界,球面无边界,也无中心,而它的体积和面积却是有限的。虽然这种模型是四维的,而不是二维的,在几何性质上,二者却十分相似,有限无边是二者皆具有的特性。这个宇宙模型诚如爱因斯坦所愿避免了光度佯谬和引力佯谬。爱因斯坦这一有限无边的非欧空间宇宙模型打破了宇宙是无限的欧氏空间的传统观念和牛顿宇宙无限观的束缚,开创了相对论宇宙学的先河。

爱因斯坦宇宙模型虽然解决了一些问题,但随着天文观测手段的发展,星系红移的发现,它随即被否定。爱因斯坦本人为此也感到后悔,认为在广义相对论场方程中引入“宇宙常数”项是他一生中最大的错事。就在爱因斯坦发表上述论文的同一年,荷兰天文学家德西特根据广义相对论场方程也得到了一个宇宙解,后来被称为“德西特宇宙”模型。这一宇宙模型与爱因斯坦宇宙模型具有相似特性,两者都是从场方程出发,通过使用同样的物理量求解而得到的宇宙模型。德西特认为宇宙空间不随时间而改变,因此亦属于静态型。但他又认为宇宙的物质有运动,只是物质的平均密度趋近于零。爱因斯坦宇宙模型是有物质无运动,而德西特宇宙模型是有运动而无物质。

就在爱因斯坦等人通过修改广义相对论引力场方程来寻找宇

宙的静态模型的同时，苏联物理学家和数学家弗里德曼却指出，因爱因斯坦宇宙模型暗含了宇宙是静态的假设，从而使引力场方程很难获得一个有意义的解。若是在宇宙学原理的基础上，假定宇宙是非静态的，我们就会发现爱因斯坦引入方程的宇宙学常数，对于求解方程就没有必要了。1922年，弗里德曼从爱因斯坦原来的引力场方程中，得到了均匀的各向同性的宇宙动态时空解，它包括两类均匀膨胀解和一类振荡解。弗里德曼通过论证将“弗里德曼宇宙”模型分为三类：开模型、临界模型与闭模型。弗里德曼指出三种模型都可得到膨胀的宇宙。开模型与开放的无限宇宙相对应，宇宙会一直膨胀下去；闭模型与有限的封闭宇宙相对应，宇宙膨胀到一定程度，将会转为收缩；临界模型的宇宙膨胀到一定程度后，就会停止膨胀。宇宙中物质的平均密度决定了最终是哪一种弗里德曼模型真实地描述了现实宇宙，但宇宙平均密度的准确值至今尚未得出。尽管弗里德曼本人并未明白他的解的重大意义，在当时也未引起人们的重视，但弗里德曼宇宙模型在哈勃发现星系退行规律的前几年，就准确地预言了哈勃所发现的东西。1929年，现代宇宙学取得了重大进展。是年，哈勃提出了哈勃定律，这是宇宙膨胀的有力证据。此后，弗里德曼宇宙模型受到了广泛重视，成为一些宇宙模型的基础。

早在从广义相对论场方程得出宇宙膨胀模型以前，哈金斯、斯里弗等人就通过对遥远星系的视向速度的观测，得到了有关宇宙膨胀的最初证据。1842年，奥地利人多普勒在研究声学时发现了多普勒效应。此后，多普勒把多普勒效应应用到了光学上，认为发光体的颜色也许如发光体的声调一样，随着物体和观察者的相对位置的变化而发生变化。1868年，英国人哈金斯第一次成功运用了多普勒效应解释所观测到的天文现象。他通过分光镜进行

观测时，发现某些明亮的恒星的光谱里的暗线，比它们在太阳光谱中的正常位置稍稍向红端或蓝端移动了一些。哈金斯认为这是

由观测恒星离开或朝向地球运动所造成的现象。哈金斯并由此成功地测出天狼星的视向速度，发现天狼星以每秒 46 公里的速度离地球退行而去。此后，他还研究了其他一些亮星的径向速度，发现其中大多数都在以大约每秒 30 英里的速度运动着。从此天文学家们可以比较准确地测量恒星运动的切向部分（自行）和径向部分（视向速度）真正求得恒星的空间运动。天体视向速度的测量带来了重大的天文学进展，促进了宇宙膨胀的观测。美国天文学家 V. M. 斯里弗于 1912 年利用折射望远镜和手制的摄谱仪，着手测量旋涡星云的视向运动，而这时天文学界还未认识到星云在银河系的外面。同年，斯里弗在洛威尔天文台测定了仙女座星系的谱线移动，发现仙女座星云以每秒 125 公里的速度朝向地球运动。截止 1914 年 斯里弗共测量了 13 个星云的光谱，仅除 2 个星云以外，它发现大多星云皆有红移现象，它们都从地球退行而去，其速度远远高于普通恒星的视向运动。斯里弗经过测定发现它们都是以大约每秒 160 至 320 公里的速度离地球远去。到 1917 年 斯里弗还发现了某些星云甚至以每秒 640 公里的速度退行。

在美国加利福尼亚州威尔逊天文台工作埃德温·哈勃用当时世界上最大的反射式望远镜（口径为 2.5 米）进行了一系列观测，证实了斯里弗所观察的那些天体是远在银河系外面的，是银河系之外的恒星系统。哈勃继续采用各种手段测量和估算星系的距离，对星系的退行问题进行深入研究。哈勃发现有谱线红移的星系占大多数，仅有本星系群中的少数星系未发生谱线红移。从此，人们终于明白光谱中的谱线位移竟原本是河外星系世界中的正常现象。这一惊人发现，描绘出了一幅宇宙膨胀的图像。1929 年，哈勃分析了他所测定的结果及前人斯里弗、哈马逊的红移资料，发现各星系的退行速度并非毫无规律可言。他认为速度与距离呈线性关系，距离越远的河外星系，红移量越大。在关于红移的各种理论假说中，引力红移、光子老化等解释不如多普勒效应更符合实

际，在此情况下，如果星系的红移现象的确是来自多普勒效应，那将意味着距离越远，退行速度越大。他根据当时天文学界所估计的星系距离进行研究，得出了结论，认为每百万光年距离增加的速度为每秒 170 公里。换言之，星系的退行速度都与其距离成正比，用公式表示为 $V = HL$ 。这种关系即是著名的哈勃定律。公式中的比例常数 H 称为哈勃常数。哈勃发现这一关系直到 600 万光年的距离仍然成立。到了 1936 年哈勃和哈马逊测得了远至 2.6 亿光年的星系的退行速度，证明哈勃定律仍然有效。哈勃常数 H 是由已知距离的星系确定的，而这些星系的距离却又因所选的标准尺度而不断修正，至今也没有一个确定的标准值。哈勃关系的适用范围是多少等诸多问题也尚未成定论，至今仍在争论之中。

红移现象的发现以及哈勃定律的提出，极大地推进了现代宇宙学的发展。红移现象和哈勃定律作为 20 世纪天文学最重要的发现，也是广义相对论最伟大的预言，同时也是天文学发展史上的一个里程碑。从此，宇宙学就真正成为既有理论证据又有观测事实的一门现代科学。正如赫曼所言，宇宙学已从“一个备受怀疑的不为严肃科学家容忍共存的学科，发展成为今天物理学和天体物理学中最普及和最深远的课题”。

1927 年，比利时天文学家勒梅特在研究了弗里德曼宇宙模型后发表了《考虑河外星系视向速度的常质量增半径均匀宇宙》一文。他通过求解引力场方程，得到了一个膨胀的宇宙模型，他把当时已观测到的河外星系的普遍退行解释为宇宙膨胀的结果，提出了大尺度空间随时间膨胀的概念，建立了勒梅特膨胀宇宙模型。1919 年，英国人爱丁顿在用照相方法进行天文观测时发现了恒星光线经过太阳引力场时的弯曲现象，证明了广义相对论的预言。在哈勃关系提出后，爱丁顿把哈勃关系式与宇宙膨胀学说联系起来，认为天文观测证实了宇宙膨胀说。他于 1930 年证明了即使爱因斯坦的静态宇宙存在，它也是处于不稳定状态。只要爱因斯

坦所假定的理论条件出现少许的偏离与误差，这种宇宙将会永远膨胀下去，或者无停滞地收缩下去。爱丁顿的观点提出后，弗里德曼、勒梅特等人所提出的膨胀宇宙模型逐渐引起天文学家们的重视，并对此类模型进行了深入研究。

弗里德曼宇宙模型与勒梅特宇宙模型是膨胀的宇宙模型，但宇宙总是从物质非常密集的状态开始膨胀的。1932年勒梅特根据其膨胀宇宙模型理论，提出了一个宇宙演化理论。他认为天体演化的最简单的出发点不是星云，而是“原始原子”。整个宇宙最初全部集中在“原始原子”，它极端密集，状态极不稳定。因发生一系列剧烈的放射性蜕变，原始原子发生猛烈爆炸，爆炸碎片向四面八方散开。当宇宙温度下降，密度变小时，各种天然元素逐渐形成。现今宇宙中的一些放射性元素以及宇宙射线都可看作宇宙大爆炸的残留物质。勒梅特还提出了“宇宙斥力”的概念，该宇宙斥力是与万有引力完全相反的力。原始原子爆炸时，物质的密度极高，万有引力超过宇宙斥力，从而使宇宙膨胀速度放慢。随着时间的流逝，万有引力和宇宙斥力逐渐处于平衡状态，在这个缓慢膨胀阶段，星系、恒星和行星逐渐形成。随着宇宙继续膨胀，物质密度逐渐降低，万有引力与宇宙斥力的平衡状态被打破，宇宙斥力超过万有引力，宇宙开始加速膨胀，一直延续至今。但受当时条件的限制，勒梅特不具备足够的核物理学知识描述宇宙演化的具体过程，他还低估了宇宙的年龄。

20世纪初，德国人魏扎克和美籍德国人贝特分别独立地提出了恒星的核能源理论。根据他们的理论，在恒星内部高温高压高密条件下，氢核可以发生聚变。恒星内部存在着由4个氢核聚变为一个氦核的氢—氢循环和碳—氮循环。宇宙早期处于高温高压的状态，具备发生热核反应的条件。美籍苏联人伽莫夫于1948年认为在宇宙的演化过程中，也存在发生类似热核反应的可能，

反应不仅能够说明观测到的宇宙氦丰度，而且也能说明其他元

素的丰度。伽莫夫完善了勒梅特宇宙大爆炸理论，把化学元素的形成与宇宙的演化联系起来，提出了系统的热大爆炸理论。依据伽莫夫等人的观点，宇宙经历了一个由热到冷的演化过程，从初始阶段、辐射阶段到实物阶段，宇宙不断演化至今。随着宇宙的不断膨胀，宇宙的温度和密度不断降低。在宇宙演化的初始阶段，辐射较物质占有更大的优势。在宇宙大爆炸的最初几分钟里，宇宙的温度相当高，正反粒子在此刻大多湮灭，宇宙中的物质只由质子、中子和电子构成，它们与特别占优势的高能光子相互作用而处于热平衡。中子接着开始发生衰变，一个中子衰变成一个质子、一个电子和一个反中微子。一个质子与一个中子发生碰撞形成氘核，氘核再与一个中子结合形成氦核。处于不稳定状态的氦核迅速释放出一个电子而转变成氦³，然后再结合一个中子变成了稳定的氦⁴。该过程持续进行下去，相继形成了所有元素的原子核。伽莫夫经过推算指出，宇宙全部物质的 25%~30% 将是氦，这与今天观测到的氦丰度相符。在适合于核合成的温度条件持续了大约 30 分钟后，温度开始下降，物质粒子的热运动能量不断减少，中性原子不断复合形成。由于辐射与实物粒子间相互作用的减弱，二者不再耦合在一起，开始独立演化，宇宙开始变得透明。巨大气体星云不断由原子聚集而成，进而形成星系和恒星。而辐射的波长将随着宇宙膨胀不断拉长，等效温度随之降低，但应保持着黑体辐射的特点，并且是各向同性的。当时预言宇宙遗留下来的热辐射温度为 5 K。

在宇宙大爆炸理论提出后，在一些现象的解释上便遭遇到了困难。关于宇宙年龄、比氦重的元素形成等问题困扰着宇宙大爆炸理论，许多人为此对该理论提出了质疑。此外，宇宙起始于温度、密度和时空曲率均为无穷大的奇异状态这一奇性问题也无法从理论上解决。大爆炸理论面临着严峻挑战。

首先在宇宙年龄问题上，热大爆炸理论遭遇到了困难。根据

宇宙大爆炸理论，宇宙起源于过去的某一时刻，通过哈勃定律，我们可以计算出宇宙起源的这一时刻。如果星系一直以匀速向外膨胀，那么任意一对星系现在的距离与它们相对速度的比值就是使该对星系分离到现在的距离所需的时间。由于速度与它们现在的距离成正比，因而任意一对星系分离所需时间是一样的。我们将宇宙从大爆炸膨胀至今所用的时间称为哈勃时间。我们可以通过哈勃定律得出宇宙年龄为哈勃常数的倒数。只要我们能测出哈勃常数，便会求得哈勃时间。在上世纪三四十年代，人们测得哈勃常数约为每百万光年 170 公里 / 秒。根据宇宙年龄为哈勃常数的倒数这一公式，天文学家们计算出宇宙年龄大约为 20 亿年。由此可知，20 亿年前，宇宙所有物质都聚集在一起，现阶段宇宙中的一切天体都应该产生于那个密集时代之后。因而，一切天体的年龄都不可能大于从宇宙诞生到今天所经历的时间。所以根据哈勃定律计算出的哈勃时间即是宇宙大爆炸所预言的天体年龄的上限。随着同位素地质学的发展，人们利用放射性同位素测定地质年龄，通过研究岩石中元素的各种稳定和不稳定同位素的丰度和它们之间的比值的变化的变化，来确定岩石的地质年龄。在对地球岩石进行多次测定后人们测得地球年龄为 46 亿年，这远远大于宇宙的年龄。这对当时的人们来说是不可思议的。

在比氦重的元素形成问题上，大爆炸理论同样遭受到了困难。伽莫夫等人假设在宇宙早期膨胀中，大部分原子核是通过快速吸收中子而形成的。然而据我们所知，并不存在由 5 个核子形成的稳定原子核。由氦 4 与一个中子结合形成的氦 5 或锂 5 很快衰变为氦 4。另外，两个氦核相互碰撞可形成由 8 个核子组成的原子核，但这种原子核极不稳定，很快发生衰变。由此可知，如果按照大爆炸理论的核结合方式，我们不免发现有一个缺口处于核子数为 5 和核子数为 8 的原子核之间。

现代宇宙学作为重要的科学前沿，正是在不断受到挑战和质

疑情况下向前发展的。在大爆炸理论受到怀疑的情况下，有人提出了稳恒态理论、震荡宇宙模型、物质-反物质宇宙理论等从不同角度去解释宇宙的起源和演化。

1948年，邦迪、霍伊尔、戈尔德等人提出了宇宙稳恒态理论。邦迪等人推广了宇宙论原理，增加了一个“宇宙不随时间变化”的假设，提出了“完全宇宙学原理”。在宇宙学原理前提下，三位天文学家认为宇宙在空间上是均匀的、各向同性的，在任何时候宇宙大尺度的特性也保持一致。换言之，不论观察者在何时，位于何种位置，所观察到的宇宙图景都是相同的。稳恒态理论避开了核合成和奇性困难。根据该原理，宇宙中的物质密度不发生变化，宇宙永远处于稳恒状态。然而天文观测结果表明宇宙正处于不断膨胀中。随着星系之间距离的不断扩大，物质密度越来越小。这与完全宇宙学原理相冲突。为了解释宇宙膨胀的事实，他们提出宇宙中有新物质不断从虚无中产生的思想。只有假设物质不断创造产生，才能抵消由于星系远离所造成的宇宙间物质密度的不断降低。在此情况下，完全宇宙学原理才能与膨胀宇宙相一致。邦迪认为，氢核聚变为氦核是恒星的主要能源。在恒星演化过程中，氢的数量日益减少，为了保持宇宙的稳恒性，所创造的物质必须是氢原子。稳恒态宇宙学预言物质创生率约为10亿年内每立方米中产生一个新的氢原子。该物质创生率如此之小，以致于地球上所能设计的任何实验的探测能力都不能探测出该物质创生率。物质创生率是极其微小的，但整个宇宙空间都发生这种物质创生时，它就变得相当可观了。然而，物质是不断创生的观点与物质和能量守恒定律相矛盾。霍伊尔通过修改爱因斯坦的广义相对论场方程，引入了一个相当于负能的场，以避免对物质和能量守恒定律的背离，同时宇宙总能量仍是守恒的。上世纪50年代末和60年代初，赖尔等人在剑桥观测了不同天区的射电源后发现，射电源的分布密度随着距离的变化而发生明显的改变。这表明宇宙密度是从密

到疏进行演化的。这一观测结果与稳恒态理论的预言相矛盾。此外，缺乏各星系在年龄上有差异的证据是稳恒态理论碰到的另一个问题。随着天文观测的发展，大爆炸理论获得了更多的支持，坚信稳恒态模型的人越来越少。随着稳恒态理论逐渐失去活力，有人提出了“震荡宇宙模型”理论。根据“震荡宇宙模型”理论，宇宙经历了一个膨胀阶段，随后进入了收缩时期。因其理论存在许多不足之处，所提出的宇宙模型也未被公认。

阿尔文、克莱因提出的物质—反物质宇宙论也是一个颇有吸引力的理论。该宇宙理论认为，宇宙不仅存在着物质，还存在着反物质。物质与反物质是等量的，也是对称的。总星系的初始状态是等离子云，等离子云极为稀薄，密度相当小，粒子与反粒子发生碰撞的概率小到几乎可以忽略不计，粒子与反粒子因此不会发生湮没。在宇宙引力作用下，等离子云不断收缩，密度随即不断增加。粒子与反粒子发生碰撞的概率增大，湮没过程发挥的作用愈来愈大。总星系云继续收缩，直至收缩到最小，此时宇宙物质密度最大，粒子与反粒子发生了激烈的湮没过程，大量的光子不断产生。当宇宙斥力超过宇宙引力时，总星系由收缩变为膨胀，一直膨胀至今。阿尔文等人通过实验观测指出，宇宙可以存在普通的总星系与反物质的总星系。该宇宙模型不但解释了宇宙背景辐射的存在，而且还解释了当前总星系的膨胀状态等观测结果。用物质和反物质的湮灭来解释宇宙中某些天体巨大的辐射功率，也获得了很大的成功。但是该宇宙模型也存在着许多不足，对是否存在巨大的物质区域和反物质区域这一问题，至今还没有直接的证据。

关于宇宙起源问题，可谓是百家争鸣，所提出的宇宙模型种类各异，分歧争论很大，变化更替相当快。但随着天文观测与理论的进一步发展，大爆炸宇宙模型逐渐为更多的人所接受，其遭遇到的困难也逐渐解决。

1952年，美国天文学家巴德提出了新的宇宙尺度，推算出了新的宇宙年龄，从而使热大爆炸模型与地球年龄之间的矛盾不复存在。早在1944年，通过威尔逊天文台的胡克望远镜，巴德对河外星系进行了观测研究。通过观测发现，旋涡星系旋臂中的恒星的赫罗图与核心部分的赫罗图有很大的不同。前者与年轻的银河星系团相近，后者与年老的球状星团相似。据此，他把银河系以及其他旋涡星系的恒星分为星族 I 和星族 II。星族 I 恒星集中分布在星系外围旋臂区域内，转动轨道接近圆，与银道面倾角较小，星族 I 天体内部重元素含量较高，约占氢的 1%~2%。星族 II 集中于旋涡星系的核心部分，转动轨道的偏心率和倾角都较大，重元素含量较少，约占氢的千分之一。此后，巴德利用帕洛马山天文台的海尔望远镜，对河外星系的造父变星进行观测研究，结果发现造父变星既有属于星族 I 的，又有属于星族 II 的，二者的周光关系不同。天文学家沙普利和莱维特所确定的周光关系不能适用于星族 I 恒星，仅能适用于星族 II 恒星。当初哈勃是从星系的外围辨认出了造父变星，它们处于星系旋臂上，属于星族 I 不服从由星族 II 的造父变星所确定的周光关系。由于哈勃错用了星族 II 造父变星的周光关系，测出的河外星系距离出现了较大的误差，实际距离要远远大于他所测得的距离。巴德制定出新的周光关系，校正了星系间的距离尺度后，人们利用巴德的研究成果，计算出了新的哈勃常数，它只是最初结果的十分之一左右，新的宇宙年龄大约在 200 亿年左右。200 亿年作为天体年龄的上限，远远超出了地球的年龄，从而支持了热大爆炸学说。

氦的丰度是支持热大爆炸学说的另一个重要证据。尽管在地球上 90 多种天然化学元素中，氢和氦的含量很少，但从宇宙尺度来看，氢和氦的含量最为丰富。两者的丰度之和竟高达 99% 左右。此外，通过研究发现，不同种类的天体都有大致相同的氦丰度，其值约为 30%。这一发现无法用热核反应过程作出解释，因

而这一问题成了天体物理学的难题。而根据热大爆炸理论，在大爆炸过程中全部物质质量的 25% ~ 30% 变成了氦核。这与今天所观测到的氦丰度相符。此外，在 20 世纪 50 年代中期，许多天文学家经过进一步天文观测研究后，提出恒星内的核生成过程可以弥补由于不存在 5 个和 8 个核子所造成的缺口，进而解决了在解释形成比氦重的元素的过程中所遭遇到的难题。

与上述观测发现相比 发现 3 K 微波背景辐射是热大爆炸宇宙理论最强有力的证据。微波背景辐射的发现完全纯属巧合。1964 年 5 月，美国贝尔电报电话公司的彭齐亚斯与威尔逊准备用角式天线去测量银河系平面以外区域所发射的射电波强度，当他们把天线对向天空时，意外地发现在 7.35 厘米上有相当大的剩余噪声。这种消除不掉的噪声辐射来自宇宙空间，没有季节变化，并且是各向同性的。这种射电噪音相当于 3.5 K 的物体的辐射 被称之为微波背景辐射。彭齐亚斯和威尔逊当时并未把这一辐射与大爆炸宇宙论的预言联系起来。与此同时，普林斯顿大学的迪克小组正设法寻找这些遗留下来的辐射。不久，迪克等人在 3.2 厘米波长处观测到了大约在 2.5 K 至 3.5 K 之间的背景辐射。在这一研究发现的启发下，彭齐亚斯二人把自己的发现确认为宇宙大爆炸后的残余背景辐射。此后人们又在 0.06 厘米至 7.5 厘米的波段上进行测量，结果表明宇宙微波背景辐射是相当于 2.7 K 的黑体辐射。宇宙微波背景辐射的发现和证明，成了支持大爆炸宇宙论的有力证据，对现代宇宙学产生了深远的影响。

大爆炸宇宙论涉及了广义相对论、原子核物理学、基本粒子物理学等理论，它不仅克服了奥伯斯佯谬，而且比较好地解释了众多观测事实 如天体的年龄、哈勃关系、星系分布、氦丰度、射电源计数以及宇宙背景辐射等，并成功地作出了一系列预言。这一描述宇宙起源和演化的模型已被人们广泛接受。就目前而言，它是最为成功的宇宙理论 又被人们称为“标准宇宙模型”。

第二节 宇宙的演化

现代宇宙学大大推进了人类认识的广度和深度。随着宇宙学理论与观测事实的不断扩展，一幅宇宙演化的大致图景呈现在人们面前。

一、从宇宙起源到元素生成

相对论宇宙学预言，在宇宙爆炸时刻，所有物质都聚在一起，温度、密度、时空曲率都趋向无限大，在数学上称为“奇点”。宇宙演化是从奇点开始，但宇宙也许从来就未真正达到这一状态。现在的宇宙膨胀或许开始于从前的依次收缩的末尾，此刻密度、温度是有限的。宇宙大爆炸后的 10^{-43} 秒称为“普朗克时代”，温度高达 10^{32} K，能量为普朗克能量 10^{19} GeV。这一时期的宇宙应当用量子引力理论来处理。可惜的是，英国物理学家 S. W. 霍金等人于 1983 年所提出的量子宇宙理论还尚未成熟。因此，人们还无法对当时的宇宙作出科学的描述，只能作出推测。有人认为，普朗克时代产生了轻子、介子、夸克、核子等。在该时期引力辐射与物质的相互作用变得非常微弱，二者的热平衡状态被打破。在此以后，引力辐射的有效温度随着宇宙的膨胀反比于宇宙的大小而下降，一直演化到今天的 1 K，但至今还尚没有方法探测到 1 K 的背景引力辐射。

此后至宇宙大爆炸后的 10^{-36} 秒，温度降到 10^{28} K，能量为 10^{15} GeV，是强相互作用、弱相互作用和电磁相互作用“大统一时期”。这个时期涉及到了重子数的起源问题。有人认为这时形成了重子不对称，即重子比反重子多，所导致的结果是今天的正物质多于反物质。也可能存在相反的情况，正反重子的不对称是后来出现的。但是，如果当时的重子与反重子有相同的数目，在宇宙冷

却过程中重子与反重子就会全部湮灭，现在的物质世界就不会存在。这种不对称性的产生条件是重子数守恒律被破坏，C 和 CP 被破坏，热平衡状态被打破。大统一理论已通过上述性质的预言，论证了正反重子不对称性的起源。

此后至宇宙大爆炸后的 10^{-12} 秒，宇宙温度下降到 10^{16} K，能量为 10^3 GeV，在这一时期，粒子物理学还未能发现有何新的物理现象发生。有些人提出，要获得新的物理现象，必须把下一代加速器从 10^3 GeV 提高到 10^{15} GeV，而它们之间的范围就像茫茫沙漠中的不毛之地，因而有人把这一阶段成为“大沙漠”。1980 年麻省理工学院的古思提出了宇宙爆胀论。这一理论近年来很流行。爆胀宇宙论与大爆炸理论有一定的相似之处，在大爆炸后的 10^{-30} 秒，这两种理论对宇宙的描述是一致的。但爆胀宇宙论认为，宇宙此后经过了一段迅速膨胀的短暂时期。在这一时期内，宇宙是按照递增速度而不是像现在那样以递减速度膨胀。后来，宇宙膨胀的速度逐渐降低，降到了像现在观察到的稳定时期。苏联的林德等人发展了宇宙爆胀论。林德认为宇宙各分裂部分以不同的速度进行膨胀，分别产生了无限多个小宇宙，而我们生活的宇宙仅是其中的一个。对于宇宙的不对称性及现在宇宙为何平直等问题，宇宙爆胀论也作了解释。

此后至宇宙大爆炸后的 10^{-6} 秒 温度降低至 10^{13} K 能量为 1 GeV。此一时期，轻子、强子与辐射处于热平衡状态，宇宙中的物质几乎都是由轻子、强子组成，核子的阈温度是 10^{13} K 因而这一时期被称为“强子时代”。有“大统一时代”的重子不对称性所产生的重子数 即核子数与反核子数之差 要比光子数小 10 亿倍 换言之，核子数仅仅比反核子数多十亿分之一。当宇宙温度低于 10^{13} K 即宇宙冷却到核子的阈温度之下时，核子与相应的反核子全部湮灭，剩下的这些极少量的核子最后成为构成现阶段宇宙的主要材料。

宇宙大爆炸后的一秒钟，宇宙温度降到了 10^{10} K 能量为 1 MeV 此时，正反核子大都湮没了，只剩下了光子、中微子、反中微子、电子、正电子 这些粒子全部处于热平衡状态。其中 正、反电子和正、反中微子的数量比中子、质子多得多，中子或质子与正反电子或正、反中微子碰撞时，将引发质子和中子间的相互转化，这种转变随着温度的不断下降朝着有利于质子生成的方向进行。正、反中微子的平均自由时间随着宇宙温度和密度的下降而不断增加，1 秒后它们与电子、正电子、光子间的热平衡状态即被打破，中微子退耦后，它的波长随着宇宙的膨胀而不断变长。根据粗略估算，现今宇宙的中微子背景辐射温度为 2 K。但是 现阶段的技术水平还未能达到中微子探测所要求的精确程度。电子与中微子发生退耦的时期，人们称为宇宙的“轻子时代”。

宇宙演化到大约 4 秒时，温度已降至 5×10^9 K 能量约为 0.5 MeV，此时，电子与正电子的湮灭率已高于产生率。宇宙温度下降到 3×10^9 K 时，已低于电子和正电子的阈温度，电子与正电子迅速湮灭，宇宙的主要组成部分不再是电子和正电子，此时剩余核子中 中子占 17% 质子含量高达 83%，一些中子与质子开始结合成为原子核。

在宇宙大爆炸后三分钟时，宇宙的温度为 10^9 K 此时 宇宙中的主要成分仅剩下光子、中微子与反中微子，电子和正电子几乎完全湮灭，仅存十亿分之一的电子以平衡质子的电荷。随后，氦核的合成速度迅速增加，大约半分钟后，中子的衰变使中子和质子的比例变成 13% 的中子和 87% 的质子，氦核的合成已基本停止，从而造成了大约 26% 的氦丰度。除了大约 1% 的氘核以外，剩余的物质几乎全是氢核（质子）。此刻宇宙中的质子，无论是自由的或是被束缚的，都有一个电子与之相对应，它们共同组成了等离子体，并与大量光子藕合处于热平衡状态。这一阶段被称为“核合成时代”。

宇宙继续膨胀 温度不断降低 物质粒子的运动能量减少 电子和质子及其他离子结合的机会逐渐增多。大约过了几十万年，等离子体温度降至大约 3 000 K 左右时，电子与原子核复合成了稳定的原子。这一阶段称为原子复合时代。复合使宇宙中自由电子的数量很快减少，辐射与实物离子间的相互作用减弱，二者开始独立演化。退藕后的光子，其波长随着宇宙的膨胀而变长，有效温度降低，变成了由彭齐亚斯和威尔逊所观察到的 3 K 微波背景辐射。

退藕后的气状物质不再受宇宙辐射的影响，当发生非均匀扰动时，就容易分裂和聚集。在其后近 200 亿年的漫长时间里 在引力作用下演化形成星系。

二、星系的起源和演化

星系是由几十亿甚至几千亿个恒星以及星际气体和尘埃物质构成的庞大的天体系统。在宇宙大尺度结构中，星系占有中心地位。通过观测发现，星系是占据几千光年至几十万光年的宏观体系。星系的分布并不均匀，大部分星系以成群的形式存在，孤立的星系只占少数。两个在一起的为双星系，三个到十余个在一起的称为多重星系。再大的星系系统有星系群、星系团和超星系团。当初，哈勃从星系中辨认出了造父变星，利用造父变星周光关系测出了所观测星系的距离，证明了在银河系以外存在着与银河系相类似的河外星系。银河系及其周围的十几个星系共同组成了一个不太大的本星系团，本星系团和室女星系团又从属于一个更大的本超星系团。

与对星系的结构研究相比，星系的起源和演化是个十分繁琐复杂的问题。目前关于星系起源与演化的理论很多，但没有一种理论能普遍被接受。星系作为宇宙的一部分，它的起源演化与宇宙的演化密切相关。大爆炸宇宙模型作为标准宇宙模型，能较好

地解释所观测到的事实。根据大爆炸理论，当宇宙处于“复合时代”时，宇宙从辐射占优势的状态变为物质占优势的状态。星系是由宇宙中弥漫物质逐渐凝集形成的。持这种弥漫观点的湍流学说、引力不稳定学说等理论从不同方面论述了星系形成机制。湍流学说是由德国魏扎克等人提出的。湍流学说认为，在等离子体复合之前，辐射压力引起了等离子体的湍流；在等离子体复合后，物质运动不再受辐射的影响，湍流运动中形成的各种大小不同的旋涡相互碰撞和混合，所形成的一小块块结构物演变成原星系。引力不稳定学说由金斯、利弗西兹等人提出。根据宇宙大爆炸理论，在大尺度上物质密度是均匀、各向同性的，但宇宙各局部区域的物质分布并非绝对均匀。与其他区域相比，物质密度稍高的区域引力大，因此该区域的膨胀速度要低于密度较低的区域。当该区域的质量大于金斯质量时，该区域最终将停止膨胀，进而转向收缩，形成星系团、星系。

与上述弥漫说相比，有人提出了与之截然相反的超密说。该学说认为，星系是从超密物质中产生。阿巴米扬根据宇宙中大量存在的星系核的爆发现象指出，超密物质存在于星系的核心部分，星系的一切物质都是从星系核抛射出来的，超密的星系核是宇宙大爆炸的碎片。诺维柯夫则指出在宇宙开始爆炸时，一些超密物质未发生爆炸，在延长了一段时间后才发生爆炸，称为延迟核。延迟核在发生爆炸膨胀时，所喷射的物质转化为星系。

随着对星系起源问题研究的深入，对星系演化的研究也取得了很大进展。这首先是从星系形态分类开始的。1926年，哈勃根据所观测到的星系形状，将星系分为椭圆星系、旋涡星系和不规则星系三大类。这一形态分类系统提出后，就有人把它作为星系的演化序列。一些人认为，球状的椭圆星系在自旋状态下逐渐变扁，因在扁平部分形成旋臂而成为旋涡星系，旋臂越来越展开，最终消失，星系演变成了不规则形状。而另一些人则提出了与之相

反的观点，认为星系是从不规则形状开始演化的。星系在自转过程中，由不规则形状逐渐变为轴对称，经旋涡星系最终演化变成球状。这两种观点争论了较长时间。有人曾尝试通过天文观测来确定旋臂是处于旋开或旋闭状况，以此来判断星系的演化方向，但没有得到明确的结果。20世纪50年代末，美国天文学家桑德奇等人经过研究后提出，哈勃序列并非星系的演化序列，因为他们发现椭圆星系与旋涡星系中都有年龄相近的老星，并且两类星系的扁度有很大差别，在两星系之间相互转化的可能性不大。他们认为星系的形态和结构主要取决于形成星系的原始星云所处的初始条件，包括物质分布、角动量分布、弥漫速度、温度、湍流、磁场等。正是这些初始条件决定了星系的形成与演化方式。

现今我们还无法用实验手段来重演星系的演化过程，更无法将在有限的时空范围内所获得的科学知识不加限制地推广应用到无限的宇宙中，星系起源和演化问题的真正解决还要依靠理论宇宙学的发展和观测手段的进步。

三、恒星的演化

丹麦天文学家赫兹普龙和美国天文学家罗素分别于1911年、1913年独立地发现了恒星的光谱型与光度有关。他们指出恒星的光谱型按顺序主要有O, B, A, F, G, K, M等型，恒星表面的平均温度由O型到M型逐渐降低，并且对应于上述温度序列的恒星的色序是蓝、蓝白、白、黄白、黄、橙、红。恒星光度一般用绝对星等表示，恒星的光度越高，绝对星等越小。光度小的恒星称为矮星，光度大的恒星称为巨星。在研究中赫兹普龙和罗素以恒星的光谱型由O至M排列作为横坐标，即温度的序列，并以绝对星等为纵坐标，将恒星的光谱型和绝对星等测定后，在坐标系中相应的位置上标出该恒星。他们绘制出的这种光谱型和光度的关系图，被称为赫罗图。在赫罗图上大部分恒星分布在从左上角（光度大

的 O 型星 延伸到右下角 光度小的 M 型星 这一对角线上 形成了“主星序”。其余大部分恒星属于右上部的巨星、超巨星和左下部的白矮星。赫罗图揭示了恒星之间的内在联系，它所反映的序列性成为研究恒星演化的主要的线索，为恒星演化的研究奠定了基础，成为天体物理学发展史上的一个重要里程碑。

早在 1854 年，德国物理学家赫尔姆霍兹就提出了太阳能来自引力收缩的假说，罗素在绘制赫罗图时就根据此一假说提出了一种恒星演化的理论。他认为恒星在刚形成时属 M 型红巨星，自身的引力收缩使其温度上升，密度增大，颜色变白，于是沿着巨星序自右向左演化到主星序上方。随后恒星的引力收缩变慢，温度开始下降，恒星就沿着主星序从左上方向右下方演化，直到 M 型红矮星。不久，罗素和美国天文学家亚当斯分别发现了位于赫罗图左下角的白矮星。1922 年，赫兹普龙在绘制北半球的赫罗图时又发现了在 F 型巨星和 A 型主序星之间的所谓赫兹普龙空区，罗素的演化理论对此都无法作出解释。

到了 1924 年，爱丁顿根据他的恒星内部结构理论，提出了恒星的质量光度关系式，即恒星的光度随质量的增加而以指数形式增加。根据这一关系，主星序不同位置上的恒星质量明显不同，这一理论改变了罗素等人关于主星序是恒星演化序列的观念。从此，人们改变了原有的观点，逐渐认识到主星序并不是演化序，而是表示了恒星处于稳定状态的位置上，并且在这一位置上停留的时间占据了恒星整个演变过程的大部分。在魏扎克和贝特提出恒星的核能源理论之后，关于恒星的演化理论取得了巨大进展。以后又经过桑德奇、史瓦兹、林忠四郎、巴德、霍伊尔等人的研究到了 20 世纪 60 年代，就可以描绘出恒星一生的演化图景。

如前所述，恒星是由低密度的弥漫物质形成的。在自身引力作用下，弥漫物质收缩成星云。小的星云可演化成恒星，大的星云则由于引力不稳定性而碎裂为许多小星云，进而形成恒星团。现

在认为恒星演化可分为以下几个阶段：

1. 引力收缩阶段

星云的演化主要取决于使它收缩的自身引力和使它膨胀的热运动产生的气体压力之间的平衡。初期时由于星云的密度小，温度低，星云的自身引力超过了气体的压力，星云收缩很快，因此这个阶段被称为快收缩阶段。在这一阶段里，物质几乎向中心自由下落。随着引力收缩的进一步加剧，一方面使星云中心的密度迅速增加，另一方面由于引力势能不断转化为热能而使得温度逐步上升。随着温度升高，气体压力逐渐增大，当气体压力增大到可以抗衡引力的时候，恒星的收缩开始由快转慢，于是进入慢收缩阶段。到了慢收缩阶段的后期，当温度超过 80 万度时，就出现氦、氘、锂、铁等参加的核反应。由于这些反应不是循环性的，所以只能在短时间内提供能量。在慢收缩阶段能量主要来自引力收缩。

2. 主序星阶段

在恒星慢收缩阶段的末期，由于温度不断升高，星体内心已经达到相当高的温度。一旦当内部温度达到千万度左右的时候，氢核聚变为氦核的热核反应可以接连不断地发生，热核反应产生的能量就成为主要能源。这样，恒星的演化就进入了一个新的时期。在这一时期，由于核反应产生巨大的能量，恒星内部压力增高到足以与引力相抗衡，恒星不再收缩，使得运动状态基本平衡，成为比较稳定的主序星。不同质量的恒星进入主星序的位置是不同的，质量越大，位置越高，主星序并不是一个演化序列。因为恒星里氢是最丰富的元素，氢核聚变反应可以在很长的时间内提供能量，保持恒星较为强烈的辐射，所以恒星在这个相对平衡时期停留的时期比其他阶段停留的时期要长。所以一般情况下我们看到的主序星多，可以说我们看到的大多数恒星都是主序星。恒星在主序星阶段的停留时间与恒星的质量有关。质量越大的恒星，核反应就越强烈，氢消耗就快，阶段就短。15 倍太阳质量的恒星只停留 1

千万年，0.2 倍太阳质量的则停留 1 万亿年。太阳在主星序阶段可停留 100 亿年，它在这个阶段上已呆了大约 50 亿年，正处在主序星的中年期。如果恒星的质量小于 0.08 倍太阳质量，其中心温度不足以引发热核反应，这些星只能靠引力收缩发光，它们不经过主序星阶段就由红矮星转化为黑矮星。

3. 红巨星阶段

在恒星的中心区，热核反应进行很快。当中心部分的氢全部转化为氦以后，氢聚变产能反应随之停止。这样，恒星中心部分就失去了足以和引力相抗衡的内部压力，随着氦核区的增大，平衡越来越难以维持。当超过平衡的临界极限时，就开始在引力作用下收缩。在收缩的过程中，释放的引力势能使氦核的温度增高，随着温度的不断升高，围绕着核心部位的中介层达到氢核反应的温度，这一层氢就开始发生核反应。中介层的聚变反应迅速向外层转移，推动外层膨胀，使恒星的体积急剧增大，而每单位面积的辐射能相应减少，造成表面温度下降，于是恒星就脱离主星序，而成为温度低、颜色红的红巨星。由主序星转化为红巨星的时间相对来说是比较短的，所以很少观测到处于这一时期的恒星，这对应着赫罗图上的赫兹普龙空区。在这一阶段，当恒星中心的温度超过一亿度，密度超过每立方厘米十万克的时候，便开始了氦核聚变成碳核的反应，聚变反应再度产生极大的能量使内部压力增大，阻止了引力收缩，使恒星进入一个相对稳定的时期。

4. 不恒定阶段

在红巨星阶段后期，氦核因温度增高很快而膨胀，而外层则收缩，表面温度升高，恒星在赫罗图上从红巨星向左方演化。随着温度的升高，碳及其后的一些元素相继进行新的热核反应，星体的结构越来越复杂。对于大质量的恒星在离开红巨星向左方演化的过程中要进入脉动不稳定区域，演化成造父变星等，此后，大部分恒星还要经过一个大量抛射物质的演化时期。经过爆发大量抛射物

质后，有的恒星会全部瓦解，成为碎块和弥漫物质，有的则留下一个致密恒星。

射 5. 致密星阶段

进入这一阶段的恒星就到了其演化的最后阶段。在这个阶段里，恒星在赫罗图中向左穿过主星序，经过爆发抛出大量物质后，留下的是白矮星、中子星和黑洞等致密恒星。如果爆发后恒星的质量小于昌德拉塞卡极限，即小于 1.4 倍太阳质量时就收缩成白矮星。白矮星的密度大约是 $10^6 \sim 10^{11}$ 克/厘米³ 由于其极高的密度，使得它的电子已处于简并态，电子的简并压阻止了恒星的坍塌。高度压缩的白矮星表面积小，光度很低，表面温度却相当高，因此发白光。随着能量的慢慢散失，白矮星将越来越红、越来越暗，最终变成一颗寒冷的黑矮星。如果爆发后恒星的质量超过昌德拉塞卡极限而小于奥本海默极限（2.3 倍太阳质量）它就演化为中子星。由于通过热核反应产生比铁更重的元素不再放出能量，而是吸收能量，这反而加速了引力收缩，以致电子简并压也难以与之抗衡，恒星的坍塌使其中心的电子几乎全部与质子相结合，形成中子，核心部分的密度可达到 10^{15} 克/厘米³ 成为一个主要由中子组成的中心核，而中子简并压将会阻止坍塌，使中子星处于相对稳定状态。如果爆发后恒星的质量大于奥本海默极限，那么其内部就没有已知的力能阻止引力坍塌了。恒星将一直坍塌下去，表面的引力场越来越强，当其半径缩小到史瓦兹半径时，引力场会强到连光也逃不出来，从而变成了一个看不见的天体，即黑洞。现在研究表明，黑洞也并非“全黑”，它保留了质量、电荷和角动量三个基本量，并以稳定的速率向外辐射粒子，这就好像一个炽热的物体向外辐射能量一样。黑洞由于辐射而蒸发，直到最后发生猛烈的爆炸，完全转化为辐射重新回到宇宙空间。这时，黑洞就转化为白洞了。白洞与黑洞的行为完全相反，它不是吸收一切，而是向外物质。目前，人们只是用间接的方法证明了黑洞的存在，但还没

有得到最后确认。

第三节 太阳系的起源

18世纪中叶以前，人们普遍认为宇宙自上帝创造以来，从来就如此，是一成不变的，太阳系也不例外。然而1644年笛卡尔在《哲学原理》一书中，却提出了太阳系是在天空中某个作涡流式运动的尘埃云中形成的观点，试图从简单的科学原理出发去解释太阳系的起源，在他的理论中探讨了太阳系是如何从预先存在的物质中生成的问题，尽管他的观点很幼稚，但在宇宙演化学史上却还是一个重要的进步。尽管牛顿发现了万有引力定律，提供了研究天体运动动力的基础，但他并未摆脱上帝创世的观点，在天体演化问题上求助于上帝的第一推动。在这种情况下，法国博物学家布封于1745年提出了一个彗星碰撞太阳产生行星的假说。他认为一个质量巨大的彗星在飞近原始太阳时与其突然相撞，这一撞击使太阳开始围绕自己的轴旋转起来，而被撞出来的物质则凝集成围绕太阳运转的行星和卫星。布封把行星看成是太阳遭遇灾变的产物，故称为灾变说。

1755年康德在《宇宙发展史概论》一书中，创立了天体起源的星云说。他认为太阳系中的所有天体都是从一团弥漫的原始星云中形成的，这些星云通过万有引力作用而聚集，最终形成天体。康德对于太阳及行星的形成都作了详细的解释。在他的理论中认为星云物质是一些尘埃微粒，由于万有引力作用的存在，使得众多密度较小的微粒不断地被周围密度较大的微粒吸引过去，形成越来越大的物质团块，这些团块在不断的运动中相互碰撞，它们当中有些则结成更大的团块，最后在星云的中心部分集结成巨大的中心天体即太阳。康德认为在微粒之间还存在着斥力，有些向中心天体下落的微粒在斥力作用下会发生偏转，绕太阳做圆周运动，这

样，在太阳的周围就又形成了一些团块，进而凝聚成行星，而卫星则是行星形成的小规模的重复。康德认为太阳把较重的微粒吸引到距自己较近的区域，较轻的微粒则距离太阳相应地远些，同时，由于受到太阳不同程度引力的关系，离太阳近的行星密度大，质量小，而离太阳远的行星密度小，质量大。此外，康德还对太阳系的其他特征进行了定性解释。康德从物质自身所具有的引力和斥力来研究天体起源，把太阳系看成是某种在时间过程中逐渐生成的东西，从而有力地挑战了当时占主导地位的僵化的形而上学自然观。康德的星云说是科学发展史上第一个比较科学的天体起源学说。尽管他的许多看法现在看来是错误的，但他关于整个太阳系是由同一星云演化而来的观点却为后来的星云说所继承和发展。

1796年法国数学家和力学家拉普拉斯在《宇宙体系论》一书的附录中独立地提出了一个与康德的星云说类似的太阳系起源的假说。拉普拉斯也认为太阳系是由原始星云形成的，与康德不同的是，他认为星云转化为行星的动力是气体的冷却，并强调了离心力。在拉普拉斯的学说中，原始星云物质是炽热的气体，体积比今天的太阳系大得多，大致呈球状，星云在缓慢的自转过程中，不断将热量辐射出去而逐渐冷却收缩。根据角动量守恒原理，星云收缩时，旋转速度必然加快，结果在不断增大的离心力作用下，星云变得越来越扁。随着旋转速度不断增大而达到一定的临界值时，星云赤道面最外部气体质点所受到的离心力就会与星云对它们的引力相等，使得星云最外部气体不再收缩，而是在原处停留形成一个旋转的气体环。由于星云的继续冷却和收缩过程反复多次重演，便形成了与行星数目相同的气体环，气体环进一步凝聚成行星。在不断收缩的过程中，在星云的中心部分则形成了太阳。

拉普拉斯的星云学说较好地说明了行星运动的一些特征，如行星轨道的共面性、同向性和近圆性等。他的学说和康德的学说一起是继哥白尼学说之后人类认识史上的又一次重大飞跃。但这

一学说本身也有缺陷，诸如对后来发现的逆行卫星无法解释等。后来，麦克斯韦用数学证明了气体环内的物质不可能凝聚成行星，而只能成为像土星外面那样的环。不久又发现了太阳系奇异的角动量分布。这些都是星云说不能解释的。

为了解决上述矛盾，20世纪初，主张太阳系是在某种偶然事件中产生的灾变说又流行起来。1900年美国地质学家张伯伦和美国天文学家莫尔顿提出了“星子学说”。1916年金斯提出了潮汐说。1929年杰弗里斯也提出了一个恒星与太阳碰撞假说。他认为有一颗恒星从边缘锐角方向撞击到原始太阳，冲击力使得太阳自转，并被撞出物质。当恒星离去时，太阳受到引力作用被拉出一条带状物质，后来带状物质分裂成若干团块并各自凝聚成太阳系的行星。1935年罗素经过精确的计算，指出恒星离去时从太阳中拉出的物质，一部分将落回太阳，另一部分则散落在周围的空间里，不会形成行星。同时他提出了双星说，认为太阳可能曾经是双星中的一个子星，而另一个子星在外来的另外一颗恒星接近时被带走，离开时受到太阳的引力留下一长条物质，后来在这些物质内形成了行星系统。英国天文学家 R. A. 里特顿还发展了这一学说。霍伊尔也接受了太阳是双星中的一颗这一观点，但他又提出另一个子星发生大爆炸，生成超新星，它在朝太阳抛出大量物质的同时因受到反冲作用离开太阳，而抛出的物质则被太阳俘获，然后形成行星。他还将地球上重元素的来源解释为超新星爆发时留下的。但是，各种灾变说在解释太阳系起源时也遇到了不可克服的困难。到了20世纪40年代，灾变说就衰落下去。而随着现代天文学的发展，星云说却又重新获得了生命力。至今，新的星云说已经有几十个，其中比较有代表性的是由瑞典物理学家阿尔文、霍伊尔、加拿大天文学家卡米隆、法国天文学家沙兹曼、苏联天文学家萨弗隆诺夫以及中国天文学家戴文赛等人分别提出的。

戴文赛等人发展了康德—拉普拉斯星云说，认为银河系的前

身是一个很大的弥漫物质云 它不断收缩 聚集成许多中等大小的云。经过 65 亿年左右的演化，出现了一个质量比太阳大几千倍的星云。当它收缩到密度大约为 10^{-15} 克 / 厘米³ 时，因星云内出现涡流等不稳定因素而碎裂成上千个较小的云，其中一个就是形成太阳系的前身的原始星云。由于它是在涡流中产生的，所以一开始就缓慢地自转着。原始星云在自转的过程中，因自身的引力而不断收缩，由于角动量是守恒的，它就一边不断收缩，一边逐渐加快自转速度，于是星云慢慢变成旋转着的扁形体。当原始星云赤道附近的自转速度增加到一定程度时，可以使边缘部分的物质受到的惯性离心力与中心区域对它的引力相抗衡，边缘部分的物质便不再收缩，而是留在原地绕中心部分转动。原始星云的其他部分则继续收缩，总有边缘物质不断留在赤道面附近，形成了一个连续星云盘。原始星云的中心部分在收缩中密度变大，最后形成太阳。同时，由于星云盘中的固态颗粒有布朗运动，因而能发生撞击并由此结成较大颗粒。这样，颗粒一边吸积，一边沉降，在赤道面逐渐形成了一个比盘薄得的尘层。尘层的密度不断增大，到一定限度时，局部的小扰动会导致引力不稳定性，使得尘层分裂成众多的粒子团，各粒子团又在自吸引的作用下收缩，集聚成星子。星子之间的碰撞结合以及星子对周围物质的吸积，使星子逐渐增大，最大的星子形成了行星胎，进而形成绕太阳旋转的行星。据估计，地球的形成过程为百万年左右，木星核为几千万年，而天王星和海王星的形成则需要几亿年。

第四节 地球的演化

一、地球圈层的形成

人们对于地球的结构直到最近才有了比较清楚的认识。整个

地球不是一个均质体，而是具有明显的圈层结构。18世纪英国物理学家卡文迪许，计算出了地球的平均密度为 5.52 克 / 立方厘米。但是由于地球表面多是花岗岩，那么地球外层地壳的密度就应当与花岗岩的基本相等，即 2.67 克 / 立方厘米 而这个数值却只有地球平均密度的一半，于是人们猜想地壳以下的物质应当比地表岩石重得多，地球内部可能是分层的。地球圈层结构的确证，主要是通过地震波的研究才得以完成的。地震波分为纵波和横波两种。当地震发生时，其能量以地震波的方式向外释放。地震波传播的速度是随着岩石密度的大小而变化的。因而通过对地震波的观测分析，可以估计出地下不同深度的物质状态。1909年南斯拉夫的地震学家莫霍洛维奇在萨格勒布附近观测地震波时，发现在地表下大约 50 公里深处地震波传播速度急剧变化，这就意味着地球内部存在着一个不连续界面，后来证实，这种现象是全球性的。这个界面就被称为莫霍洛维奇界面，简称莫霍面。莫霍面以上的部分为地壳，地壳的厚度在全球各地是不均匀的，大陆区的平均厚度为 35 公里，海洋下的地壳厚度大约为 5~8 公里。地壳的上层主要由花岗岩组成，下层主要由玄武岩组成。大陆地壳的表层是风化层，其上是一薄层土壤。

1919年 美国地震学家古登堡发现在地下 2 900 公里深处地震波又发生了一次显著变化：纵波速度陡然减慢了 40% 而横波突然间消失。这就说明在这个界面以下物质状态又有了新的变化。这个界面被称为古登堡面。古登堡面以上为地幔，以下为地核。地幔的厚度约为 3 500 公里，将近地球半径的一半，密度为 3.3~5.6 克 / 立方厘米 主要成分为橄榄岩 比地壳的组成更加致密。由于在深度大约 700 公里以下的地幔 含有较多的铁、镁等金属的氧化物及硫化物，所以又以 700 公里为界，以上称上地幔，以下称下地幔。700 公里的分界面是平均而言的，不同地方有所不同。地核又分为外地核和内地核两层。外地核的厚度为 2 900

4 980公里，可能处于液体状态。从地下约 5 120 公里到地心则为内地核，可能处于固体状态，其间是一个过渡带。地核主要由铁镍组成 密度从外层的 9.7克 / 立方厘米增加到地心的 17 克 / 立方厘米左右。

地球的圈层结构是如何形成的呢？这首先要回答地球是如何形成的。目前地球起源有“热”起源说和“冷”起源说两类。“热”起源说认为地球原是太阳分逸出来的热气物质或火球，后来经过冷却逐渐而成。“冷”起源说则认为，地球是由冷的尘埃和星子积聚而成的，“冷”起源说即是现代星云说。但自从放射性元素发现后，人们认识到由地球内部放射性元素蜕变时所释放出的大量热量，不仅足以补偿在几十亿年内地球演化所散失的热量，而且能够使地球增温，这便使“热”起源说中地球是由热气物质或火球冷却而成的假定成为不必要的了，“热”起源说逐渐遭到冷淡。

“冷”起源说可以较好地解释地球圈层的演化过程。一般认为，地球是由冷的尘埃和星子积聚而成的，此时地球是浑然一体，不分地壳、地幔、地核。但随着尘埃和星子积聚，地球的内部发生绝热压缩，其温度逐渐上升。同时由于尘埃星子的相互吸引而产生的位能可以转化为地球的内能，因而也可使地球温度升高。地球温度升高的另一个热源是放射性同位素衰变而产生的热量。在地球早期历史中，寿命比较短的放射性元素（如钍²³⁶、钷¹⁴⁶、钷²⁴⁴、镅²⁴⁷）衰变产生的热能占主要作用，而后期以长寿命的放射性元素如铀²³⁸、铀²³⁵、钍²³²、钾⁴⁰）所产生的热能成为主导。随着温度的升高，地球内部的物质塑性加大直至出现局部熔融现象。我们知道，地壳的主要成分是花岗岩和玄武岩，二者皆属硅酸盐；地幔中的橄榄石属铁镁硅酸盐；而地核的主要成分为铁镍。硅酸盐和铁镍的物理性质有所不同：铁镍的熔点低而密度大，硅酸盐则熔点高而密度小。因而首先熔化的是铁镍，熔化态的铁镍物质就穿过硅酸盐层，流向地内深处，形成原始地核，硅酸盐物质则浮到地球

上部成为原始地幔。组成原始地幔的硅酸盐物质也存在着密度差异，在地球重力作用下，较轻的花岗岩类浮在地球最上层，玄武岩位于花岗岩之下，两者构成了地壳，而较重的橄榄岩又位于玄武岩之下，便形成了地幔。经过两次分化后，地球分成地壳、地幔、地核三个层次。

与此同时，随着地球内部各圈层的形成，大气圈和水圈也产生了。最初地球的外层是没有大气的，因为地球是原始星云集聚而成的，早期地球的质量比较小，其引力不足以吸引住外层的气体。随着地球质量的不断增加，地球的引力也不断增大，这就有可能保持外层的气体，从而形成原始的大气圈。原始大气的来源有两个：来自外部的太空气体和陨石带来的气体，来自地球内部的由于物质间的反应产生的气体。随着时间的推移，后者占原始大气的比重越来越大。原始大气的主要成分是一氧化碳、二氧化碳、甲烷、氨、水蒸气等。当时原始大气圈中的游离氧非常少，主要来自水蒸气经紫外线照射发生光分解而产生的氧。在距今 30 亿年以前地球上出现了原始的低等生物——蓝绿藻。绿色生物的出现，对于原始大气圈的演化起到了关键作用。一方面，它们通过光合作用放出氧气；另一方面，氧气与原始大气中的一氧化碳、甲烷和氨发生氧化作用，从而使得二氧化碳和氮气的含量逐渐增加。由于绿色植物持续进行光合作用，大气中二氧化碳又逐渐减少，而氧气越来越多。大约在 3.5 亿年左右，地球的大气圈具有了现在这样的成分和性质，即以氧气和氮气为主要成分，由还原性大气转化为氧化性大气。

目前最古老的沉积岩的年龄近 40 亿年，而地球形成迄今为止已有 46 亿年，这就说明地球很早以前就存在着水。水的来源主要是地球内部，以矿物中结晶水的形式出现。除此之外，还有落在地球上的陨石带来的水和来自太阳的质子形成的水分子。地球内部的水通过火山运动进入大气。随着地球表面温度的下降，大气中

的水蒸气凝结成液态水降落到地面上。一部分渗透到地表的岩石中，一部分则形成最早的地表水，这就是原始水圈。地球上的水圈主要由占地球总水量 97% 的海洋组成。根据前古生代（距今 30 亿年左右到 5.7 亿年）的微生物化石来估计，早期海洋的含盐量可能不多。海水变咸是海洋长期进化的结果。海水中的盐分主要来自陆上的岩石风化和海洋中的火山爆发。最初的海水吸收了火山爆发带出的氯化氢、氟化氢、硫化氢等酸性气体，具有强酸性。酸性的海水与海洋中的矿物质发生化学反应，产生氯化盐、氟化盐等，使酸性水圈变为中性水圈，这称为氯化物水圈。20 亿年前开始有碳酸盐岩类沉积。人们推测，这是由于一段时期内大气圈中二氧化碳含量的增加，海洋中生成了大量的碳酸盐，使得氯化物水圈演化为氯化物和碳酸盐水圈。当二氧化碳减少，而氧气增加时，氧将硫化盐氧化，生成硫酸盐，从而使水圈演化为现代的氯化物、碳酸物和硫酸物水圈。

大气圈和水圈的形成成为生命的产生创造了条件。大约在 30 多亿年前在原始海洋中产生了最原始的生命，但还没有细胞产生。在前古生代的早期出现了原核细胞，以蓝绿藻为代表，到了古生代的后期才出现了真核细胞，以后随着生物的不断进化而形成了生物圈。当然，已形成的各圈层并不是彼此孤立和静止的，而是互相渗透、互相制约，从而使地球的圈层结构朝着更加复杂和有序的方向发展。

二、大陆漂移

早在古代，人们就发现海底可以上升为陆地，陆地也可以下沉为海底。在 20 世纪以前，人们一直认为地壳仅在原地做垂直升降运动，海洋和大陆的相对位置是一成不变的，这就是关于大地构造的海陆固定论，简称固定论。正当固定论在大地构造领域处于主导地位的时候，德国气象学家魏格纳受非洲海岸与南美洲海岸形

状吻合这一事实的启发，于 1912 年提出了大陆漂移说，向海陆固定论提出了挑战，并由此引发了一场地学革命。

古希腊哲学家泰勒斯就曾设想过大地是一个漂浮在水上的圆盘。17 世纪初期，英国哲学家 F 培根在其著作中指出非洲和秘鲁西海岸之间有一种大致的吻合。此后，一个叫普顿斯的天主教神父提出新大陆和旧大陆是被诺亚时期的大洪水分开的，并推测诺亚方舟是沿着当时还不太宽的大西洋航行的。18 世纪中期，布封根据大西洋两岸生物区系的比较，设想两边大陆曾经连在一起。19 世纪初期，近代地理学的创始人洪堡也提到过大西洋两岸是可以拼接起来的。正式提出大陆漂移思想的人是斯奈德，他在 1858 年发表的《地球的形成及其揭示的奥秘》一书中就提到了这种观点。他还绘制了一幅大西洋两岸大陆的复原图，这张图与后来的魏格纳的泛大陆地图有些相似。他曾用欧洲和北美洲煤层中化石的相同来证明这两个大陆原来是连接在一起的。但斯奈德却认为这两块大陆是被《圣经》上所说的大洪水冲散的。此外，格林、冯·柯尔贝格、克赖希高尔、维特斯坦因也设想过整个地壳的移动。与魏格纳观点最为接近的是 20 世纪初期美国地质学家 F.B 泰勒的思想，这是魏格纳后来才知道的。泰勒认为大陆地壳像冰盖一样滑动，速度缓慢，欧亚大陆在南移途中受到印度半岛的阻挡而形成了帕米尔、喜马拉雅和西藏高原的褶皱带，在印度东南，则因阻力不大而形成了马来亚岛弧。但是这些观点都没有引起人们的重视。

据魏格纳回顾，大陆漂移的设想是他在 1910 年得到的。1912 年魏格纳发表了第一篇关于大陆漂移的论文，1915 年写成了《海陆的起源》这部奠基性著作，提出了泛大陆理论。这部书发表后，在学术界引起了极大的反响和争议。魏格纳的观点之所以有如此的影响而前人没有，关键在于他用科学证据充实了这一设想，把一个粗糙的假说改造成一个严谨的理论。魏格纳认为在距今 3 亿年

的古生代石炭纪，地球上存在惟一大陆——联合大陆或泛大陆。周围是一个围绕泛大陆的广阔海洋，称为泛大洋。较轻的硅铝质的大陆块就像一座座块状冰山一样漂浮在较重的硅镁层之上，并在其上发生漂移。在地球自转离心力和潮汐力的作用下，从 2 亿年前的中生代泛大陆开始发生分离。美洲在白垩纪时脱离非洲和欧洲向西漂移，在它们之间就形成了大西洋。非洲有一半脱离亚洲，它的南端在漂移的过程中沿顺时针方向稍有扭动，逐渐与印巴次大陆分离，形成了印度洋。原来的泛大洋则缩小成为现在的太平洋。南北美洲在向西漂移的过程中，其前缘遇到洋底的阻力，被挤压褶皱成美洲西岸的科迪勒—安第斯山等。北上的印度大陆和东移的亚洲大陆相撞，逐渐隆起成喜马拉雅山脉。阿尔卑斯山和阿特拉斯山可以看作是喜马拉雅山的延伸，它们是大陆向赤道方向挤压的产物。漂移的大陆在其后缘可留下长条状尾部而形成一连串的岛屿。中美洲的大小安的列斯群岛，亚洲的日本、菲律宾可能都是这种滞后的表现。

魏格纳及其追随者主要从大陆形状的相似性、地质学、古生物学和古气候学等几个方面论证大陆漂移学说。

魏格纳起初曾从大西洋两岸非洲和南美洲的海岸线弯曲形状的相似性中得到启发。魏格纳设想，如果大陆曾经是联在一起的，那么联合线两侧岩石的构造、年代必定相一致。魏格纳打个比喻说，如果两片撕碎了的报纸按其参差的毛边可以拼接起来，且其上的印刷文字也可以相互连接，我们就不能不承认这两片破报纸是由一大张撕裂开来的。为此，魏格纳对大西洋两岸的地层和褶皱山系进行了详细比较，果然发现它们确实存在着对应关系。例如，非洲大陆的片麻岩高原与巴西的片麻岩高原可以相接，而且二者所含的火成岩和沉积岩以及褶皱延伸的方向也极为一致；非洲南端的开普勒山脉与南美的布宜诺斯艾利斯附近的山脉在地层上也可以彼此相接。北美洲纽芬兰一带的褶皱山系与北欧斯堪的纳维

亚半岛的褶皱山系同属早古生代的加里东褶皱带；志留纪和泥盆纪形成的挪威和英格兰北部的褶皱山脉可以延伸到加拿大阿巴拉契亚褶皱山脉。此外，非洲和印度、澳大利亚等大陆之间，也有地层构造之间的联系。可见，这种地质构造上的一致性不是局部的，而是全球性的。这就为泛大陆的存在提供了地质学方面的证据。

古生物学家很早就发现许多不能跨越深水的古植物和动物，分布在大西洋两岸以及其他为大洋所隔开的大陆上。例如，中龙是一种生活在淡水中的小型水生爬行动物，在南非和巴西都有发现，而迄今为止，世界其他地方皆未发现中龙的化石。这种在淡水中生活的动物是不可能游过广阔海洋的，这表明南非和巴西之间可能有陆地联系。在南美洲、非洲和澳大利亚三块大陆上都有一种叫作肺鱼的淡水鱼类，还有几种有亲缘关系的不会飞的鸵鸟。有一种石炭纪和二叠纪时期的两栖动物，一般出没于溪流、江河与湖泊中而很少迁徙但在欧洲、美洲、印度和非洲都发现了这种动物的化石。类似的例子还有蜗牛、蚯蚓、昆虫等，它们都是在特定时代于地球某处出现，然后迅速遍及所有大陆。除了动物外，还存在着许多跨洋植物。例如，在南半球的几个大陆和印度，在二叠纪的地层中都发现了舌羊齿植物的化石，而在其他地方却没有发现这类化石。在美洲东南部各州（得克萨斯至佛罗里达）范围内出现的北美洲威尔柯克斯植物区系化石，据确证与始新世的南英格兰阿勒姆湾植物区系有亲缘关系。

有人可能怀疑，如果同种动植物可以在不同的地区独立形成，那么古生物证据就不能成立。但物种起源的单祖论认为，相同的生物种群不可能在相距遥远的地区分别独立地形成，它们必定起源于某一地区，然后直接或间接地传播到其他地区。早在魏格纳之前，许多古生物学家就注意到了这种现象，但是他们是用“陆桥说”予以说明的。陆桥说的主要思想为：在各大陆之间曾经有过一系列狭长的陆地或岛屿，因而相互之间有陆地联系，这就是所谓的

陆桥。通过陆桥，那些不能越洋的动植物就可以从一个大陆迁移到另一个大陆。后来这些陆桥由于地壳的升降运动而沉没为海底，大陆才被海洋完全隔开。陆桥论者进一步说，非洲与南美洲的陆桥在白垩纪才消失，而北美洲与欧洲之间的陆桥在第三纪以后才中断。总的说来，陆桥说的基础是固定论。因为他们只承认陆地是按垂直方向升降，而否认存在水平移动的可能。

魏格纳却批驳了陆桥说的观点，认为大西洋两岸以及其他一些大陆间生物种属的相似性不能用陆桥说解释，与此相反，魏格纳试图利用陆桥说作为大陆漂移假说的证据。魏格纳认为，大陆是硅铝层，比较轻；而大洋是硅镁层，比较重。因此大陆只能漂浮在大洋上，而不能潜入洋底。退一步说，即使“陆桥”发生沉陷，也应在原地留有一定痕迹，然而人们却未发现这方面的证据。魏格纳又举例来说明这点。像澳大利亚的有袋和单孔类哺乳动物与南美洲的一些动物有着亲缘关系，甚至寄生在有袋类身上的扁虫和绦虫也具有某种相似性。可是与澳大利亚只有一水之隔的印度尼西亚群岛上的动物种类却与之截然不同。那么，为什么远隔重洋的大陆之间有陆桥连接，而近在咫尺的大陆间却没有呢？大陆漂移学说的古生物学证据关键在于古生物地理图。如果甲地和乙地都具有中生代的某一动物化石，便可推断这两个地区在中生代是互相联接的。魏格纳根据大陆漂移说对大陆进行复原，发现澳大利亚原先与南美洲相距不远，而与现在澳大利亚周围的岛屿相距甚远，这就解释了上述动物群的异常分布。但是应当看到，古生物学证据的缺点在于，能够进行地层比较的只是近6亿年以来的这段时间，因为在此之前的动植物化石太少。再者，这种方法不能知道地层的绝对时间，只能知道地层间的先后关系。

身为气象学家的魏格纳理所当然地对古气候特别注意。人们可以通过化石和地层来推断某一时期的气候情况。比如，有珊瑚化石存在，表明该地曾有流动性好的温水，有大量阔叶植物的化

石，则表明曾具备热带条件，有擦痕砾石堆积而成的冰碛层说明那里出现过冰川。大陆漂移学说比较好地解释了石炭纪和二叠纪时代的冰川分布之谜。人们根据冰川痕迹发现，在大约 3 亿年前的石炭和二叠纪，南部美洲、北部非洲、印度和澳大利亚均为冰盖所覆，这就说明地球上曾出现过大洋川。然而在北半球却找不到石炭纪、二叠纪的冰川痕迹，甚至现位于澳大利亚外海海域的帝汶岛却有该时期的珊瑚化石。这种异常现象曾一直是古气候学中的未解之谜。但是大陆漂移学说合理解释了这一反常现象。在 3 亿年前，这些冰川地区是连在一起的，它们集中在极地周围，冰川痕迹可能是由覆盖其上的巨大冰盖造成的。除此之外，魏格纳还分析了其他古气候方面的证据，认为它们同样支持大陆漂移学说。

大陆漂移学说打破了地壳运动以垂直运动为主和大陆位置固定不变的传统观念，在学术界引起了巨大的轰动和争议。1922 年 3 月《曼彻斯特卫报》发表了 F. E. 维斯教授的《大陆移动 新的理论》一文，维斯指出魏格纳的理论“对于地理学和地质学都是极为重要的”，对于生物科学也大有益”这一理论“是一个极好的科学假说 它将大大激发进一步的探究”。1922 年 4 月 在影响巨大的《自然》杂志上，一篇文章称，如果魏格纳的理论最终被证实，将会发生一场与“哥白尼时代天文学观念的变革”相似的“思想革命”。魏格纳用大陆漂移说比较完满地解释了有关大陆地质构造、生物化石以及古气候的一致性，并阐明了造山运动的成因，从而把大陆漂移思想发展成为一个完整而系统的理论体系。因此，人们一般都把魏格纳看成是大陆漂移说的创始人。

但是与此同时，反对者也非常多。大陆漂移学说与传统的地质思想截然相反，因而遭到了许多地质学家的反对。他们视魏格纳为“异端”，甚至不承认他是一名地质学家，而只是一个气象学家。1926 年由美国石油地质学家协会召开了一次辩论会，会议论文集就称为《大陆漂移理论：魏格纳关于陆地起源和运动的论文

集)到会发言的有 14 人,支持和反对的各占一半。

反对意见主要有以下几条。其中以大陆漂移动力机制的争议最大。

魏格纳先是从大陆漂移运动的主导方向为出发点,来分析大陆漂移的动力来源。他发现大陆主导运动方向有两个:一个向西移动,一个是自极地向赤道移动。魏格纳认为,前一种运动是由于月球的引力所产生的潮汐摩擦力引起的。由于潮汐摩擦力的作用,地球的自转速度有所减慢,于是各大陆相对于地球由西向东的自转相对滞后,从而导致大陆缓慢地向西移动。后一种运动的来源为地球自转而产生的离心力。这是因为,在地球上除了赤道和两极外,其他每一个地方都受到指向赤道的离心力水平分力的作用。反对者一般都承认这些力确实存在,但是普遍认为这两种力实在太小,不足以使大陆移动。经过计算,由地球自转而产生的离极力只是重力的数百万分之一,如此小的力是根本不可能移动大陆的。英国著名的地球物理学者杰弗里斯在其《地球》一书中,通过严格的计算证明魏格纳所说的两种力不能构成大陆漂移的原动力。杰弗里斯的观点得到了很多人的支持。

其次,魏格纳认为刚性的大陆硅铝层就像冰山浮在水上一样,漂浮在塑性的硅镁层,这一观点也受到了诸多批评。就算魏格纳所说是真的,也是有问题的。如美洲在向西漂移的时候,其前缘受到太平洋底硅镁层的阻碍,那么为什么发生褶皱的是坚硬的美洲大陆,而不是可塑的太平洋洋底呢?

再者,魏格纳进行古大陆重建时依据的几何特征是不够精确的。虽然南大西洋的两岸非洲和美洲的形状吻合得很好,但是北大西洋的纽芬兰和欧洲就很难对接。

再者,如果大陆进行了长时间的漂移,便会受到洋底长期的阻碍作用,那么在漂移过程中大陆的构造必定有所改变,但是为什么大西洋两岸的构造吻合这么好?这不恰好说明大陆构造的不活动

性吗？

除了上述四条之外，有人还提出泛大陆的破裂为什么开始于二叠纪，难道以前的地球比现在的地球还活跃？还有人试图用其他原因来解释大陆漂移学说所提出的证据。像跨大陆的古生物的相似性，对于植物来说，可以通过风力或鸟类将其种子传播过去；而不能飞行的动物则有可能借助于漂浮物来到大洋彼岸。

大陆漂移学说产生于 20 世纪初期，经过赞成派和反对派之间的激烈争议到了 20 年代末，大陆漂移学说基本上失败了。一方面由于魏格纳的学说认为地球是不坚硬的，大陆可以进行水平移动，这与传统观点冲突得十分利害；另一方面大陆漂移学说也有其不完善的地方，还缺乏更有力的证据来支持这一革命性观点。1930 年，魏格纳为了在大陆测量方面寻找大陆漂移的证据，在对格陵兰的探险考察过程中，因心脏病突发而冻死在考察途中。随着魏格纳的殉难，他所创立的大陆漂移学说更趋衰落了。在这种情况下，仍有少数地质学家坚持大陆漂移学说，并且提出了一些改进建议，其中最有名的代表为英国爱丁堡大学的地质学家霍姆斯和南非地质学家杜·托依特。

1931 年，霍姆斯发表了地幔对流的观点，对大陆漂移的动力来源作出比较完满的解释。霍姆斯认为，地幔内部由于温度和密度分布不均匀而产生对流，对流体从地幔上升到地壳下面，然后顺着地壳下层向两侧前进，当与另一对流体反向相遇时，两者便转向下降流回到地幔深处，从而形成了对流循环。随着地幔流的上升和平移，地幔上的大陆被撕裂，然后同地幔一起漂移，就好像物体放在传送带上一样。

而杜·托依特则提出了“两个大陆说”。他主张在古生代中叶到第三纪初期，有两块原始大陆，而不是一个联合大陆，北半球

欧大陆，南半球是冈瓦纳大陆，二者为巨大的特提斯海（古地中海）隔开。劳欧大陆包括现在的部分欧洲、亚洲、北美洲以及格陵

兰冈瓦纳大陆包括一部分南美洲、非洲、南极洲、澳大利亚以及印度半岛。后来它们各自分裂，漂移到现在的位置上。中国著名地质学家李四光也是活动论的主要代表之一。他虽然不完全赞同大陆漂移学说，但是他相信地壳的水平运动，并把这种运动归结为由于地球自转速率的变化引起的。虽然有人支持大陆漂移学说，但毕竟是少数。在 20 世纪的 30 年代和 40 年代，在固定论强大压力下，一些支持大陆漂移学说的人也发生了动摇，大多数地学教科书也不再包括大陆漂移学说的内容。

大陆漂移学说虽然被“正统”地学学者们抛弃了，但是到了 20 世纪 50 年代，随着古地磁学这门新学科的诞生，大陆漂移学说在沉寂了 20 多年后又戏剧般地复活了。这一事件导引了现代地学革命的到来。古地磁学是通过对岩石磁性的研究而发展起来的，它是研究地磁特性和变化历史的科学。首先要了解一下岩石在自然界中是如何获得磁性的。中国古代人民很早就知道了利用天然磁石制造指南针。在曾公亮《武经总要》中就记载了指南鱼的制作方法：先将薄铁片制成鱼形，放在炭火上烧红，再让它在南北方向上冷却，这样它就有了磁性，将它放到水上就可用来指示方向。指南鱼的制作包含着重要的磁学原理。当铁磁性物质经过加温达到一定温度后就会失去磁性。由于这一事实是由居里夫人的丈夫皮埃尔·居里发现的，所以这一温度临界点也称为居里温度。但当失去磁性的铁磁性物质冷却，其温度低于居里温度时，便会重新获得磁性，其磁场方向与外磁场相同。这种现象称为热剩磁。热剩磁原理同样也适用于岩石。当炽热的岩浆在冷却成岩石的过程中，当温度低于居里温度时，便会在地磁场中磁化，其磁化方向与岩石形成时的地磁场方向相同。

除了岩浆岩之外，沉积岩在沉积和固结成岩的过程中，一些铁磁性物质也会受到当时磁场的影响发生顺磁力线方向的定向排列，这样沉积岩也有磁性。这些岩石的磁性一经形成便具有较强

的稳定性，可以保存到今天。因而人们可以通过研究岩石磁性，来推知当时当地古地磁场的情况，这就好像生物化石可以反映化石生成的时代一样。这种岩石在形成过程中所获得的磁性称为化石磁性。通过对化石磁性的研究，我们就可以系统地测定各种不同年龄岩石形成的磁场方向和磁倾角，从而了解地球磁场的变动史。一般认为，地球是一个磁偶极子，更为通俗地说，类似一个条形磁铁。条形磁铁的两端是南北极，同样地球也就有磁极，即地球磁场方向的延线同地球表面的交点。

古地磁学在 20 世纪 50 年代曾非常流行。在 40 年代末 英国伦敦大学的布莱克特在研究磁场起因的过程中，成功地研制出一台可以测出极微弱磁场的仪器——无定向磁力仪，这为古地磁场研究奠定了基础。因为化石磁性是很微弱的，测量时必须具有高灵敏性的磁力仪。后来布莱克特和剑桥大学的朗肯分别领导两个研究小组对于岩石磁性作了大量的测定工作，推动了“古地磁学”这门新学科的发展。布莱克特最先测定了英格兰三叠纪地层的化石磁性。布莱克特等人发现，该时期的地磁场方向同现在的地磁场方向相差 30° 而磁倾角也由 30° 变成了现在的 65° 。1954 年研究小组公布这一发现，并将这一现象解释为自三叠纪以来，英格兰顺时针旋转了 30° ，并且向北移动了一定距离。但是这一成果发表后，并未引起人们的注意。一方面大陆漂移学说已被人们遗忘了多年，另一方面许多老地质学家对于新兴的古地磁学不熟悉，有时甚至怀疑测量的准确性。

朗肯的研究小组测定了英格兰和其他欧洲国家从前寒武纪以来每一个地质时期古地磁极的平均位置，把这些点按照前后顺序依次连接起来，得到了一条古地磁极的游移曲线。从游移曲线上可以看出，时代最早，古地磁极偏离现在的位置越远。但是他们误认为，这只是古地磁极的偏移，而没有考虑到可能是大陆的漂移造成的。后来，当研究小组进一步分析了北美大陆的化石磁性资料

后，又否认了原初的解释。他们发现北美大陆前寒武纪以来的磁极游移曲线与欧洲国家的曲线形状很相近，只是在三叠纪前，两条曲线的经度大约相差 20 多度。一般认为，磁极游移曲线只有一条。这是因为地球的磁极只有一个，虽然磁极在极地附近摆动，但是以几千年为单位，其平均地磁极还是相对固定的。而现在有两条地磁极游移曲线，惟一的可能是欧洲和北美洲大陆之间必然发生过相对位移。如果把北美大陆随着时间的上推而逐渐向东移动，到三叠纪时向东移动 20 多个经度 那么 这两条曲线就会重合在一起，此时北美大陆和欧洲大陆恰好连接在一起，大西洋几乎不再存在。按照这种方法得到的拼合大陆以及大陆漂移历史，与魏格纳主要根据古生物学得出的结论相符合。

那么其他大陆是否也是如此呢？布莱克特等人又对南非、澳大利亚、加拿大、印度和南极洲等地磁进行了研究。最后发现这些地区的地磁极游移曲线经偏移后也基本上重合在一起，这些成果迫使人们重新考虑大陆漂移学说。虽是如此，人们仍对古地磁学的证据心存怀疑。这个时候，剑桥大学的地球物理学家布拉德成功地进行了大西洋两岸的电子计算机拼合，又为大陆漂移说提供了一个直接有力的证据。前面已经说过，在维格纳时期，人们已经发现有些大洋两岸的大陆形状并不完全吻合。再者维格纳主要是根据地形、古生物和地层的资料来拼合的，这种拼合方法易受主观的影响。当大陆漂移学说复兴后，这个问题又成为人们注意的焦点。据说，杰弗利斯对于自己同事使大陆漂移说复活感到很尴尬，就断言非洲与南美洲间的接合大约有 15% 的误差。布拉德正是听了这话才进行了计算机拼合。这时大陆拼合的关键，是要寻找新的拼合方法。其实，海岸线并不是大陆和海洋的真正分界线，大陆的周缘经过大陆坡而直落大洋盆地，大陆坡的坡脚才是大陆地壳和大洋地壳的分界线。实际上，维格纳早就知道这种拼接方法，但由于当时的海底资料不足而无法实现。 1965 年 布拉德等人根

据最新的海深图，运用电子计算机对大西洋两岸 1 000 米等深线进行拼接，结果发现它们几乎完全吻合，平均误差不超过 1°。布拉德认为，只要这种接合不是偶然的，就可证明大陆曾是一个整体。到了 70 年代初，科学家已完成了其他大陆的电子计算机拼合，所得结果基本上与当初维格纳的设想一致。

三、海底扩张

然而大陆漂移的机制依然悬而未决，但海底地质与地球物理的飞速发展，为解释漂移机制提供了可能。

由于洋底为海水所覆盖，长期以来，人类对于海洋地质知之甚少。近一二百年来，尤其是二战以后，随着回声测深技术的产生以及重力、地磁、地热等地球物理勘探方法的发展，人们对于海洋深处的知识才逐渐多起来。19 世纪中叶，在铺设横穿大西洋的电缆时，人们发现在大西洋中部地形比较高，当时称它为电讯高原。20 世纪 20 年代德国在一战失败后为了偿还赔款派出一艘“流星号”海洋调查船去寻找黄金，调查人员用超声波装置对大西洋探测时，发现大西洋中部有一条绵延不断的海岭。海岭是海底山脉，一般高于海底 1 公里便可视为海岭。海岭分为海脊和海隆，边坡较陡者叫海脊，边坡较缓者为海隆。随后人们在其他的大洋也发现了海岭。

到了 20 世纪 60 年代海底调查已取得了丰硕的成果，主要的有三条，这为海底扩张理论的提出做好了准备。

(1) 全球海岭体系及中央裂谷系的发现。1956 年美国拉蒙特研究所的海洋地质学家 M. 尤因和 B. C. 希岑指出各大洋底有一条首尾相连的环球海岭体系。在大西洋和印度洋，它们大都位于洋底的中部，并与相应的大陆坡平行，它们分别称为大西洋中脊和印度洋中脊。大西洋中脊北起北冰洋，向南按 S 型延伸，绕过非洲南端好望角，与呈倒 Y 型的印度洋中脊的西南支相连，而印度

洋中脊的北支则伸入亚丁湾、红海，与东非内陆大裂谷相连。太平洋海岭位于大洋东侧，是边坡较缓的海隆；其南端与印度洋中脊的东南支相接，北端则伸入加利福尼亚湾。海岭体系高出大洋盆地 1~3 公里 宽约 1 000~2 000 公里 总长约 8 万公里 几乎占了三分之一的大洋面积。希岑等人还发现在洋脊的轴部存在着平行洋脊的巨大的中央裂谷，谷深可达 1~2 公里 谷壁陡峭 实际上是一系列向谷内陡倾的张性断裂。这就是全球裂谷体系。陆上的山脉几乎都由挤压褶皱的沉积岩组成，而大洋的海岭却主要由火成岩组成。沿着中脊裂谷还有一条连续分布的地震活动带，这说明大洋中脊轴部具有很强的构造活动性。人们还发现洋中脊的重力值并不比大洋盆地高，其轴部的热流量也相当高，这反映出洋中脊下面是较轻的物质，中脊以下有比较热的物质向上涌。

(2) 全球海沟体系的发现。海沟一般位于大洋的边缘。海沟主要有太平洋西北部的阿拉斯加、阿留申、千岛、伊豆、马里亚纳海沟，东部的秘鲁—智利海沟、中美海沟，以及印度洋东北部边缘的爪哇海沟，大西洋中美洲附近的波多黎各海沟，南极洲附近的南桑德韦奇海沟等。大多数海沟在靠陆的一侧还分布着岛弧。岛弧是系列岛屿连成一个弓形，因此称为岛弧。岛弧最大的特点是在其靠海的一侧 多有超过 6 000 米深的海沟。早在 20 世纪 20 年代，荷兰学者万宁·曼纳就曾在海上进行过一种精密的重力测量，发现海沟的重力值非常小，表明在海沟处可能有一种向下拉的力。再者，海沟的热流量非常低，与海岭的高热量成鲜明的对比，这就意味着海岭和海沟的成因可能不同。

(3) 洋底地壳的新发现。20 世纪 50 年代 通过对洋底的地震资料分析，发现洋底的表层——沉积层非常薄，平均不过 0.5 公里。这就引起了人们的疑问。按照海陆固定论的说法，洋底的年龄应当和大陆的年龄一样老，因而洋底的沉积层不会这么薄。而且在洋底也没有发现比白垩纪更老的沉积物和岩石，这就说明洋

底要比大陆年轻得多。

到了 1960 年左右，对这些新发现进行综合的时机已基本成熟，加之大陆漂移说的重新兴起，终于迎来了地球科学理论的一场重大变革。其代表人物为美国普林斯顿大学的 H.H.赫斯和美国海军研究所的 R.S.迪茨。1960 年，赫斯以初稿的方式小范围内发表了一篇名为《海洋盆地的历史》的报告。1962 年，赫斯正式发表了此文。一般认为，这篇文章标志着海底扩张说的正式问世。赫斯认为，地幔中存在着大规模的对流运动。地幔物质从中央海岭中涌出，逐渐向海岭两侧扩张，当它到达大洋的边缘——海沟和岛弧后，则又重新沉降到地球内部。陆地因其密度比较小，不会沉入地幔，而是被动地由海底传送带拖动，所以赫斯的学说，也称为“海底传送带假说”。但是赫斯本人对于该假说的把握并不大，把它称之为“地质诗随想曲”。

现在看来，海底扩张有两种不同的方式。一种是扩张的洋底同时把两侧的大陆推开，大陆随着海底一起运动，这样大洋便不断张开。像大西洋、印度洋就是这样形成的。另一种情况如古老的太平洋，在海底地幔对流的过程中，大陆并不随之移动，当洋底物质到达海沟时，便向下俯冲，重新回到地幔中去。洋底并不推动两侧大陆移动。不管怎样，洋底的年龄一般不会超过两亿年，洋底的沉积层自然就比较薄。中央海岭是炽热的地幔物质涌出的地方，这就解释了为什么海岭主要由火成岩构成，其热流量高，而且轴部存在中央裂谷的现象。海沟是洋底消失的地方，因而其热流量比较小。

迪茨的工作也是不能被遗忘的，最先引入“海底扩张”这一术语的就是迪茨。1961 年迪茨发表了《通过海底扩张的大陆和洋盆的演化》一文，基本观点同赫斯类似。值得注意的是，迪茨认为在岩石圈的下面有一个软流层，岩石圈可以在其上自由活动。这一观点具有板块构造思想的萌芽。

海底扩张学说提出后，加拿大多伦多大学的 J.D 威尔逊又提出了一个新的证据。威尔逊设想，如果把大西洋看成是一个逐渐扩张的大裂隙，那么由洋脊裂谷的地幔物质所形成的火山岛离洋脊越近年龄应当越小，因为它们是刚刚生成的，而离洋脊越远的岛屿的年龄应当越老。于是威尔逊便广收证据，来证明这一点。例如冰岛的年龄至多 1 000 万年，亚速尔群岛为 2 000 万年，更远一点的百慕大群岛为 3 000 万年，而靠近非洲西岸的费尔南多波岛和普林西比岛则为 1.2 亿年。这同大陆漂移说所估计的大西洋开始扩张的时间基本一致。除此之外，太平洋上的火山岛年龄分布也与设想一致。

海底扩张学说，引起了当时学者们的巨大兴趣。不久又有三条重要的海洋地质发现来证明海底扩张学说，即海底磁异常条带、深海钻探成果和转换断层。

早在 20 世纪初，人们就发现有些岩石的磁性方向同现代地磁场的方向相反。到了 30 年代日本学者松山发现日本第三纪以后的岩石有一半同现代地磁场方向相反，由此他认为，地球磁场并不是老指向一个方向，而有时指向相反的方向。后来，人们又逐渐发现其他大陆的岩石化石磁性也有这种特点。到了 50 年代人们已经基本上确立了地球磁场倒转史。后面我们将看到，地球磁场倒转史的确立对于海底扩张学说有着重要意义。

第二次世界大战后，海洋学家们通过对洋底磁场的连续观测，绘制了一些洋底磁异常图，但是很长时间内没有发现任何规律性。随着资料的积累，到了 20 世纪 50 年代末，英国地球物理学家 R. 梅森首先发现太平洋东北部等地存在强弱相间的条带状磁异常，后来人们又在其他洋底也发现了类似现象。条带状磁场宽度大约几十公里，长度可延续数百公里。为什么会有这种现象，当时人们无法解释。开始人们认为这些强弱相间的条带状磁场是由于岩石磁化强度不均引起的，磁化强度高的海底磁体形成了正异常条带，

而相邻的磁化强度弱的海底磁体则形成了负异常条带。1963年，剑桥大学的两个青年学生 F.J. 瓦因和 D.H. 马修斯则提出了另一种解释。他们认为这是按正、反磁化方向相互排成条带状的结果。两人进一步解释说，根据海底扩张说，高温地幔物质自洋中脊涌出，然后对称地向两侧推移。在前进的过程中，其温度降低，当低于居里温度时，便沿当时地磁场的方向被磁化。由于历史上地磁场曾倒转过多次，因而在海底不断扩张过程中，在不同时期形成的海底就被或北向、或南向磁化，从而在洋底留下了一系列磁化方向正反相间的磁异常条带。

瓦因和马修斯的解释有其道理，但是人们尚有怀疑。三年后，1966年，美国在旧金山召开了一次地质学会，会上又有几项有力的证据支持瓦因—马修斯的假说。

不久，美国拉蒙特研究所和海军研究所共同对大西洋中冰岛南面的一个叫做雷克雅奈斯海岭进行了航空磁测，发现这里的正负相间的磁异常条带都对称地分布于洋脊轴的两侧，与瓦因—马修斯的假说一致。

另外，瓦因和威尔逊还对海底的磁异常条带进行了定量计算。因为根据海底扩张学说，海底磁化方向正反相间的磁异常条带产生的最终原因是地磁场的倒转，如果假设海底的扩张速度是匀速的，那么磁带的宽度应当与地磁场极向年表上的时段成正比。地磁场极向年表，简单说，就是地磁场方向倒转的绝对时间表。在50年代末，人们开始用刚问世不久的钾—氩年龄测定法，来确定具有正反磁性岩石的绝对年龄。1964年美国 A. 考克斯等人将400多万年来地磁场的倒转史精确地确定下来。年龄为0~69万年的岩石，磁性方向主要是正的，与现代地磁场方向一致，这一时期称为布吕纳正向期；年龄为70~243万年的岩石的磁性方向主要是反的，叫松山反向期；年龄为244~332万年的岩石磁性方向主要是正的，叫高斯正向期；年龄为333~450万年的岩石，磁性方

向主要是反的，叫吉尔伯特反向期。瓦因和威尔逊利用这个“时间标尺”同东太平洋一条海隆上的正负磁异常条带进行了对比，结果发现磁带的宽度与极向年表中各对应时段的宽度成正比。进而，二人估计出大西洋和印度洋单侧海底扩张速度为 1~2 厘米/年，太平洋单侧海底扩张速度为 3~6 厘米/年。

旧金山会议的另一个证据是，海底沉积物的磁性方向也呈正负相间逐层分布。前面说过，沉积岩在沉积和固结成岩的过程中，一些铁磁物质也会受到当时磁场的影响发生顺磁力线方向的定向排列。由于洋底沉积极为缓慢，所以表层数米厚的洋底沉积物的磁性，就可反映出最近数百万年的地磁场变化史。1966 年，拉蒙特研究所的 N.D.奥普代克对南极海和北太平洋的海底沉积层的柱状试样磁性进行了测定，结果表明海底沉积层磁性方向也是逐层正反向交替，并且各层的厚度恰好与海底磁异常条带的宽度成正比例。

从后两条可知，大陆的火成岩、海底磁异常条带和海底沉积岩，从三个不同的方面说明着相同的地磁场倒转的历史，有力地证明了海底扩张的正确性。不过需要说明的是，这三个方面的证据主要指的是近四五百万年以来地磁场倒转的历史。

20 世纪 60 年代，美国的几个海洋研究所联合制定了一个“深海钻探计划”。1968 年，深海钻探船“格里玛挑战者”号开始对各大洋进行了广泛地钻探取样。深海钻探证实，海底沉积层的厚度自中脊到两侧逐渐增加，一般由零到 1 300 米左右。与此相应，沉积层的年龄也是逐渐增加的，最古老的沉积层的年龄不超过 1.6 亿年。所有这些钻探成果都与海底扩张学说所预测的一致。

转换断层的发现成了海底扩张的另一个证据。20 世纪 50 年代，人们在各大洋都发现了磁条带和中央海岭的错动现象，开始认为这是一种普通的水平断层。1965 年，加拿大学者威尔逊对此提出了质疑。威尔逊发现这种断层与水平断层很不一样，它是由洋

中脊轴部向两侧的海底扩张引起的，他把这种新的断层叫做转换断层。转换断层与水平断层的区别有三点：一是两者相互错动地段的错动方向正好相反；二是随着时间的推移，水平断层两侧洋脊的距离会越来越大，而转换断层中洋脊间距离有可能不变；三是水平断层的错动是发生在整条断裂线上，这就意味着，如果发生地震活动的话，将遍及整个断裂线，而转换断层的错动仅发生在两洋脊的中间，因而地震活动也主要集中在这—地段，两洋中脊的外侧应当是无地震活动的。二次大战后，美苏两国都想探索对方的地下核爆炸实验，因而在全世界范畴内广泛布置了地震观察网。美国的拉蒙特研究所 L. R. 赛克斯借助于这些地震观察网收集了大量大洋海岭附近的地震观察资料，经过分析，他发现从震源机制得出的断层错动方向与威尔逊所预言的转换断层的错动方向一致。1966 年，赛克斯在旧金山地质学年会上发表了他的研究报告，引起巨大的轰动。

四、板块构造

20 世纪 60 年代中期，海底扩张学说已广为地质学家所认可。1968 年威尔逊发表了《地球科学的革命》，高度评价了大陆漂移说和洋底扩张学说在地球科学史上的划时代意义。但地质科学发展的脚步却并没有因此而停止。不久，威尔逊、麦肯齐、摩根等人便提出了板块构造学说。板块构造学说是大陆漂移学说和海底扩张学说结合的产物，它的提出被人们誉为是地球科学上的一场革命。

1965 年 威尔逊初步表达了“板块”这一概念。他认为地球表层并是一个整块，而是被海岭、转换断层、岛弧—海沟这些活动的构造分割成若干巨大的板块。前面说过，地球内部可分为地壳、地幔和地核三部分，这是从地震学和物质组成成分角度来划分的。事实上 地球按照物质的强度划分 可分为岩石圈、软流圈、中层圈及地核。通过对大量地震波资料的研究发现，在地面下大约 70~

250 公里处地震波的速度降低，表明这里的物质具有一定的塑性，这一圈层便称为软流圈，软流层以上的部分为岩石圈。岩石圈主要是由许多由冷而刚硬的岩石组成，岩石圈分为几个大的块体，每个块体有它自己的运动方向及速度，这些块体就是“板块”。岩石圈对应于地壳和地幔的顶部，软流圈是地幔的上部，而中层圈为地幔的中下部。

显然，威尔逊吸收了魏格纳“大陆是可以漂移的”这一核心思想。但是威尔逊的提法与魏格纳的观点又有两个不同。一是板块的个数不同，大陆漂移说认为地球早期只有一个大陆板块，而威尔逊认为可能更多。二是魏格纳的学说是“脆弱的陆地之舟，航行在坚硬的海床上”，而威尔逊恰恰相反，应是坚硬的板块漂浮在软流圈上。

1967 年 10 月 英国的《自然》杂志发表了英国人 D. P. 麦肯齐和 R. L. 帕克合写的一篇文章，文中用刚体旋转的概念分析了板块在地球表面上运动的问题。两人被认为是板块理论的造始者。但事实上 在半年前 即 1967 年 4 月，普林斯顿大学的地球物理学家 J. 摩尔根在地球物理联合会组织的一次“岛弧、洋脊和海底扩张”专题讨论会上 宣读了名为《黏性介质中的对流和大洋海沟的形成》的一篇论文，该文已经表达了类似的观点。摩尔根用橘子打了个比喻，用刀在橘皮切下一小块，这一块橘皮可以沿着剩下的橘子表面滑动。将切下的橘皮看作是板块，我们会发现板块并不是平面的，而是一个曲面；板块的运动也不是平面运动，而是浮在软流圈上沿着地球表面滑行。德国数学家欧拉曾经证明，任何一种刚体沿着球体表面的运动都是一种绕轴的旋转运动。板块运动所绕的旋转轴与地球表面的交点叫做板块的旋转极。每个板块有自己的旋转轴（欧拉轴），由于板块可以是多个，因而旋转轴也不惟一。摩尔根将整个岩石圈分为 20 个板块，认为板块产生于洋中脊，形成后的板块不会变形，沿着地球表面旋转，直到遇到海沟消

失于地幔中。这里我们可以看到，摩尔根的基本思想是结合了威尔逊的“板块”和“海底扩张说”。摩尔根进一步通过计算来验证这一假设。他通过磁异常条带离中脊轴的距离计算出板块的扩张速度，发现板块的扩张速度随着远离旋转极而增大，在赤道处速度最大，在旋转极处速度为零。这就说明了板块在作绕轴旋转运动。

1968年2月，摩尔根的论文才正式发表，晚麦肯齐和帕克4个月。

摩尔根在地球物理联合会会议上的发言，引起了一个人的注意，他就是法国地球物理学家 X. 勒比雄。勒比雄在摩尔根、麦肯齐等人的工作的基础上，建立了第一个大陆漂移板块模式，这与维格纳的大陆漂移已有明显的区别。1962年3月，勒比雄在《地球物理研究杂志》发表了他的文章。勒比雄把岩石圈划分成6大板块，即太平洋板块、美洲板块、欧亚板块、非洲板块、印度洋板块和南极洲板块。他又详细确定了每个板块的界限，计算出各板块旋转极的位置及扩张角速度，大部分板块既有大陆也有海洋，而不以大陆和海洋为界。后来，有人根据地震的分布把美洲板块分为北美和南美两个板块，共七大板块。勒比雄十分熟悉精确填绘转换断层的工作，他用墨卡托投影图证明了横断中脊的转换断层确实是代表板块旋转运动方向。

板块边界的存在是划分板块的依据，板块的边界一般以洋脊、转换断层、岛弧、海沟等为标志。从板块之间的相对运动方向来看，板块有分离型、汇聚型和平错型三种边界。分离型边界，相当于大洋的中脊，边界两侧的板块反向运动。汇聚型边界，相当于海沟，边界两侧的板块相对运动。而平错型边界则为转换断层，其两侧板块相错运动。由于地球的表面积是恒定的，那么在全球范围内板块的消亡速度应与扩张速度相等，因此汇聚型边界板块的消亡速度就等于分离型边界板块的扩张速度。扩张速度可以由转换断层的走向和磁异常条带等方面来确定。这样，便可定量地计算出岩石圈各板块旋转运动的基本格局。

板块理论提出后，首先梅森试图从大地测量方面对其验证。在冰岛附近，一段大西洋的中脊露出水面。梅森自 1967 年开始在该裂谷的两侧设置了标杆，用激光测量标杆间的距离。几年之后，标杆间距离增大了 5~8 厘米，也就是说裂谷两边的板块背向运动了 5~8 厘米。这与勒比雄所预计的分离型边界的扩张速度相吻合。平错型边界的板块错动速度也得到了事实的验证。美国西部的圣安德烈斯大断层是一条从陆上通过的转换断层，其断层移动速度为每年 1~4 厘米。人们还根据地震资料估计出一些海沟的滑移速度，如阿留申海沟为每年 6.7 厘米，智利海沟为每年 6.1 厘米，千岛海沟为每年 13 厘米。这些数据都与勒比雄的估计基本一致。

板块构造学说认为，各个板块之间的相互作用是大地构造活动的基本原因。由于形成后的板块是坚硬的，根据力学原理——刚性物体可以传递外力，因而强烈的构造活动多发生在板块的边界。地震学的研究发现，地球地震能量大约 95% 都是在板块边界释放的。目前世界上的地震主要集中分布在三个地震带上：环太平洋地震带、阿尔卑斯—喜马拉雅—印度尼西亚地震带、大洋中脊及大陆裂谷地震带。这些地震带的分布与板块边界一致，而且地震震源机制所给出的相对运动方向也与勒比雄所划分的六大板块的相对运动方向一致。在三个地震带中，环太平洋地震带是地震活动最强的地震带，所释放的能量约占全球地震释放能量的 76%。在环太平洋地震带中，地震震源深度变化是很有规律的：在海沟附近都是浅源地震，离海沟较远出现中源地震，在更远的大陆内部则出现深源地震，震源排列成为一个由海沟向大陆方向倾斜的带。海沟附近的这种震源排列形式是 20 世纪 50 年代美国学者贝尼奥夫发现的，故称为贝尼奥夫地震带。过去，人们对于中源地震和深源地震的成因一直不清楚，而板块构造学说较好地解释了这一现象。贝尼奥夫地震带实为板块俯冲的产物。当坚硬的大洋

板块沿着海沟向下俯冲的时候，炽热的地幔物质来不及将其加热软化，因而刚性的大洋板块很容易发生内部的断裂和变形，从而产生地震。实际上，贝尼奥夫地震带为海底岩石圈在海沟处的俯冲和消失提供了有力的证据。

火山活动也可通过板块边界得到说明。同地震带分类一样，地球上的火山也主要分布在环太平洋、阿尔卑斯—喜马拉雅—印度尼西亚、大洋中脊及大陆裂谷。板块的边界活动决定着火山的成因和类型。分离型边界是新板块形成的地方，大量的熔岩从这里涌出形成火山。大洋中脊是全球最大的火山活动带。如冰岛，它正好位于大西洋中脊上，周围有 100 多座火山，其中有 27 座活火山，平均每隔 5 年就发生一次火山爆发。汇聚型边界包括俯冲边界和碰撞边界两种情况。由此形成的火山爆发一般都比较剧烈。例如，1815 年坦博腊火山爆发，几天之内，近 500 公里范围的天空皆被火山灰遮盖。

从板块构造角度来说，汇聚型边界周围容易形成造山运动。这是因为在板块碰撞、俯冲的时候，岩石变形十分剧烈，同时伴随着强烈的岩浆活动和变质活动，表层地质会发生较大的改变。环太平洋山系发育于太平洋边缘的板块汇聚边界，主要因板块的俯冲作用而形成山脉。在这里大洋岩石圈俯冲到大陆岩石圈之下，在大洋岩石圈下弯的地方产生了海沟，在其上部则由岩浆上升形成了一连串的火山岛屿，而大陆边缘的沉积岩因受到大洋岩石圈的水平压力而形成褶皱山脉。另一种情况是两大陆板块的对撞也能形成褶皱山系。如喜马拉雅山就是因印度板块和欧亚板块碰撞而形成的。由于两个大陆板块都比较轻，不会形成俯冲，而是两侧的岩层挤压褶皱，相互结合，地面向上抬起形成山系。

板块构造学说还能完满地解释大洋的生成和消长变化。大洋的发展可分为六个时期，即胚胎期、幼年期、成年期、衰退期、终了期、残痕期。胚胎期的代表是东非大裂谷系，虽然它还没有生成洋

壳，但裂谷有许多火山，地震频繁，多种迹象表明，东非大裂谷正在缓慢地开裂。幼年期的代表是红海和亚丁湾。它们的年龄不超过二二千万年，目前红海海盆仍快速地扩张着。壮年期的代表是大西洋，它在侏罗—白垩纪时代开始张开，发育至今已十分成熟，具有现代大洋的一切特征，中部为大西洋中脊，中脊轴部有裂谷，裂谷内不断溢出枕状和绳状拉斑玄武岩。衰退期的代表是太平洋，虽然目前太平洋仍是最大的大洋，但其面积较古太平洋大约减少了三分之一。终了期的代表是地中海，为古特提斯海的残余海盆，在中新世时曾干枯过，在距今约 500 万年时，因直布罗陀海峡被冲破，大西洋海水才又注入了地中海。残痕期的代表是喜马拉雅山，现在海洋已是高山了。

需要特别注意的是，当说到七大板块时，很容易误解为其形状就是现代的样子。虽然板块是坚硬的，形成后不变形，但是板块是产生于中央海岭，消失于海沟，这就意味着板块的形状是在不断地变化着。由于板块是漂移的，所以其位置也是不断变化的。许多人可能认为板块构造学说与魏格纳学说有冲突。魏格纳使我们确信，曾经存在着一个泛大陆，而现在有七个板块，那么如何解释泛大陆呢？一些人认为泛大陆现象只是地球历史的一个特殊阶段，在这个阶段，七个板块恰好聚在一起，即所谓的泛大陆，这个泛大陆是由七块组成，而不是一个整块。如果仅从陆地漂移这个角度来看，板块构造说认为，在泛大陆产生之前，陆地也在漂移，在泛大陆产生之后，陆地漂移的过程如同魏格纳所说。但是这是表面现象的相同，二者的漂移机制却是不同的。

第五节 生命的起源和进化

地球上千姿百态的生命到底是从哪里来的？这一问题自古以来就受到人们关注。许许多多的古代科学家和哲学家为此提出许

多假说。除了神创论之外，较早提出的有关生命起源的理论是自然发生论。自然发生论是在科学不发达时代，人们基于对自然界简单的、不充分观察而得出的一种关于生命起源的理论。它认为生物可以从非生命物质中迅速而直接地产生出来。如在古代中国就有“水者何也？万物之本源也，诸生之宗室也”的说法（《管子·水地》）。古希腊的德谟克里特也说由于太阳的温暖，首先在最初的泥土里生出泡状的东西，接着从中形成鱼一类的东西。但18世纪法国学者巴斯德著名的曲颈瓶实验彻底推翻了生命的自然发生论，证明地球上现有的生命只能来源于生命，这种观点也称生源论。然而最初的生命是从哪里来的呢？为解释地球上生命的最初来源，19世纪德国化学家李比希等人提出了宇宙胚种论。认为地球上的生命是从其他天体上输入的，生命和物质是一样古老的，是永存的。20世纪科学家在一些陨石上发现了有机分子，进一步促进了宇宙胚种论的发展。现代宇宙胚种论认为最初形成生命的有机分子来源于星际空间，然后又在地球上演化为丰富多彩的生命世界。

随着现代科学的发展，又出现了化学起源说。化学起源说依据大量的化学事实认为最初的生命物质是通过一定的化学反应在地球上形成的。恩格斯就曾指出：“生命的起源必然是通过化学的途径实现的。”^①早在19世纪，化学起源说与达尔文进化论结合在一起，形成了今天的化学进化说。化学进化说是一种较为科学的关于生命起源的理论。现在，一般认为生命的起源与演化经历了两个主要过程：化学进化阶段和生物进化阶段。

一、化学进化阶段

化学进化阶段，是指从无生命到有生命的过渡阶段。地球的

① 恩格斯：《反杜林论》第70页，北京：人民出版社，1970年。

年龄约为 46 亿年，化学进化说认为在地球生命诞生之前，有一个漫长的化学进化过程。通过一定的化学反应，首先由无机分子生成有机小分子，再由有机小分子生成生物大分子，进而形成大分子复合系统，最后演变为原始生命体。

1. 有机小分子的产生

化学进化说认为在地球的原始大气中产生了有机小分子。地球的原始大气是在地球形成并冷却后形成的。原始大气与现代大气是极不相同的，主要由氢、甲烷、氨、二氧化碳、一氧化碳、水蒸气、硫化氢、氰化氢等组成。由于原始大气不含游离氧和臭氧层，故原始大气具有还原性，太阳的紫外线也可强烈地透射到地球表面。于是在紫外线以及其他自然能源如闪电、火山喷发、陨石碰撞、宇宙射线等条件的作用下，原始大气通过各种不同的化学反应机制，形成了一系列不同的有机小分子化合物，如各种氨基酸、各种碱基、核苷酸、单糖、卟啉等。其中氨基酸和核苷酸的出现是这一阶段化学进化的重要产物。

在可控制的条件下，原始大气生成有机小分子已在许多实验室的模拟实验中得到了证明。1953 年美国芝加哥大学米勒设计了一个特殊的可抽成真空的玻璃仪器，在高温消毒下通入甲烷、氨、水和氢气组成的类似原始大气的混合气体，然后模仿原始地球的自然条件，在仪器中连续进行电极火花放电。八天后，米勒对实验样品进行了分析，结果得到许多种有机小分子，如合成蛋白质所必需的甘氨酸、丙氨酸、天冬氨酸、谷氨酸以及蚁酸、醋酸、丙酸、尿素等生物小分子。米勒的实验为我们提供了几十亿年前原始地球上有机物合成的生动景象，有力地证明了有机物生物前合成的可能性。此后许多学者改用其他类似原始大气气体或模拟其他原始自然条件，也获得成功。目前，天然蛋白质中所含的 20 种氨基酸以及单糖、核苷酸等生物有机小分子均已成功模拟合成。

由于原始地球大气几乎没有氧气，所以产生的有机物小分子

既不会分解，也不会氧化。科学家认为，产生的这些有机物小分子会随着雨水最终积聚在原始海洋或湖泊中，经过长期积累逐渐变成了像一锅热的营养汤。科学家称之为“霍尔丹汤”，这就是地球上生命诞生的摇篮。

2. 生物大分子的产生

生物大分子主要是指蛋白质和核酸。蛋白质是氨基酸分子聚合而成，核酸是由核苷酸组成的。那么，原始的生物大分子是如何形成的呢？根据化学理论，有机小分子聚合成生物大分子是通过脱水缩合反应进行的。蛋白质分子就是多个氨基酸通过脱水缩合形成的一条或几条多肽链。核酸长链也是由核苷酸脱水缩合而成的。从理论上讲，水的存在不利于缩水反应。那么，原始生物大分子是如何形成的。科学家们认为，缩水反应可能有两途径：一是干热聚合法，即在水或接近无水的条件下，特别是在水沸点以上的高温下进行的聚合反应，二是借助于化学缩合剂以吸附反应生成的水。科学家通过大量模拟实验表明，这两种方式所需的条件在原始地球上都是具备的，并证实了在原始条件下有机小分子间的缩水反应是存在的。

1960年美国生物化学家 S. W 福克斯首先用干热聚合法合成了类蛋白质。福克斯在无水条件下，把各种氨基酸混合加热至 $150^{\circ}\text{C} \sim 200^{\circ}\text{C}$ ，几小时后得到了分子量数以千计的各种氨基酸聚合物。经研究发现，这类物质具有普通蛋白质的许多特性。如有显色反应、有水解、脱羧、胺化、脱氨基、氧化还原等功能，还有微弱的酶活性和激素作用。但其结构还很简单，功能也很不专一和高效，因此福克斯称之为类蛋白质，并认为类蛋白质是现代生物体中各种蛋白质的祖先。在原始地球上，有许多火山、温泉等温度高于沸点的高热地区，在这些地区极易发生有机小分子间的缩水反应，并有利于蒸发掉妨碍缩水反应的水分。所以，在地球的“热地区”上，进行蛋白质的干热聚合的可能性是存在的。

关于第二条反应途径 有的学者认为在原始地球的海洋里 有机物小分子被浓集于无机矿物质形成的黏土颗粒上，在缩合剂的作用下，缩水生成生物大分子。实验已证明，用聚磷酸为缩合剂，经过较温和的加热处理或紫外线照射，就能使氨基酸脱水形成肽，也能促使核苷酸进行聚缩合而形成聚核苷酸。

1965年中国在上世界上首次人工合成蛋白质——结晶牛胰岛素，不仅开辟了人工合成蛋白质的新纪元，也是从非生命系统合成蛋白质的又一个生动例证。继后，人工合成蛋白质和核酸又有大量成功报导。目前，通过模拟实验和人工合成已充分证明，在原始地球的条件下，蛋白质和核酸等生物大分子的产生都是一个必然的过程 并在生成后进入海洋，至此生命的曙光就在前头了。

3. 原始生命的诞生

一般认为自我更新、自我复制和自我调控是生命最基本特征。地球上蛋白质和核酸的出现，虽然标志着化学演化已进入到一个重要阶段，但单独的蛋白质和核酸并不是原始生命。只有蛋白质和核酸结合起来，才能逐步发展成为具有生命特征的原始生命。对此目前存有不同的解释。

苏联生物学家奥巴林等人根据胶体在水中凝聚成团的现象，提出了团聚体是生命起源的最初模型的理论。奥巴林等人将透明均一的白明胶水溶液和阿拉伯胶水溶液混合在一起后，发现混合溶液变得混浊，并在显微镜下观察到许多与溶液有明显界限的小滴，奥巴林称之为“团聚体”。团聚体具有一定的生命现象 是能与外界进行物质、能量和信息交换的多分子体系。有实验表明团聚体还能从外界吸收葡萄糖排出麦芽糖，以周围物质为原料并制造出与之迥然不同的东西，这正是生命的一个重要特征。对于复制功能，奥巴林指出，团聚体可能由于外部的作用，如水浪冲击波的作用而分裂。所以奥巴林认为团聚体的形成是生命诞生的合理过程。以后大量实验发现 其他蛋白质、核酸、多肽、多核苷酸、多糖、磷脂等在一定

的温度和酸碱度的条件下，也可以形成团聚体。现在一般认为，在有机物浓度较高又无生物消耗的原始海洋中，形成团聚体是有可能的。而且，一个正在生长的团聚体微粒完全可能由于表面张力、体积与重量的对比关系以及分子电作用等而自动分裂。

福克斯则提出了生命起源的微球体假说。福克斯等人在冷却稀热的类蛋白盐溶液时，在显微镜下发现形成了无数球状体，他后来称之为类蛋白微球体。这种微球体具有相对稳定的结构并与细胞有许多相似的性质。它具有双层结构的膜与水分开，还能新陈代谢并进行繁殖。福克斯认为通过干热聚合形成的类蛋白在原始海洋中聚集成微球体是一条可行的途径，微球体可以作为原始生命系统的模型。

团聚体理论和微球体理论，对于探讨原始生命出现的可能途径都是很有意义的，但两者仍存在各自的弱点。奥巴林的团聚体主要是由现代生物的物质聚合而成，这与最初的有机体之间存在着明显的差异。福克斯的微球体中则没有核酸的成分，这与现代生物体也截然不同。且两者的所谓膜都是由蛋白类物质组成，与现代生物膜的组成和结构明显不同。

上述原始生命诞生的模型中还有一个缺陷，就是都未能解决现在生物大分子合成的有序性问题，即在生命起源过程中蛋白质与核酸孰先孰后的问题 犹如“蛋”、“鸡”之争一样。对于这一问题的回答一般认为有三种观点。一种观点认为生命的最初形式是只建立在蛋白质基础上的，另一种观点认为只是建立在核酸基础之上的，第三种观点认为生命的最初形式是建立在核酸和蛋白质基础之上的。从现在细胞内部的蛋白质与核酸的关系来看，它们是相互联系、相互制约的。因此，有的科学家从生物的重演律出发，认为在生命起源的早期阶段，蛋白质和核酸之间这种相互作用机制就可能建立了起来，尽管这种联系还是比较原始的。如 A. G 卡恩斯-史密斯曾设想了一个核酸和蛋白质早期联合的方案。他

认为当时的自然界可能存在一些自然模板，比如是黏土矿物，它在一定程度上可以控制合成蛋白质时氨基酸的结合顺序，后来核酸加入了这个复合体，并取代了黏土矿物质，从而形成了具有很强适应能力的核酸和蛋白质组合系统。法国生物化学家、遗传学家 J. L. 莫诺则提出了“偶然发生论”，认为原始的遗传物质与原始的蛋白质是偶然碰到一块从而产生出生命的。

总之，多分子体系的出现是原始生命产生的标志，这意味着一种暂行的生命形态开始形成，从此便出现了物质运动的新形式——生命运动。

二、生物进化阶段

原始生命诞生后 生命的进化就从化学进化阶段进入生物进化阶段。首先是非细胞形态到细胞形态的进化 然后是低等生物到高等生物的进化 每一步进化都经过了漫长的时间。

1. 非细胞形态到细胞形态的进化

最初的多分子体系是非细胞形态的。它的简单的外膜与外界进行物质交换机制主要依靠渗透作用，不能主动控制物质交换。因此在原始生命演化为细胞形态的过程中 界膜——细胞膜的演化起了极为重要的作用。

现代细胞膜是由蛋白质和类脂分子组成的，类脂分子在膜中排列为双分子层，亲水端在外，疏水端排在中间，蛋白质则镶嵌在类脂双分子层内或附着在它的表面，并且类脂分子与蛋白质处于流动状态。现代细胞膜不仅使细胞与外界隔离开来，而且还能主动控制物质的进出。

原始膜具体发展成为现代细胞膜的过程，目前还不十分清楚。有人认为最初的多分子体系的界膜可以吸收类脂分子，类脂分子便排列在多分子体系之外，然后与蛋白质分子相互作用，形成类脂蛋白质层。后来在一定物理作用下形成双层，再逐渐演化成现代

的细胞膜。还有人认为在原始海洋表面，类脂分子可以自发地排成单分子层，亲水端在水中，蛋白质分子同类脂层相互作用而嵌在其中。后在一定外力作用下，单层的类脂膜可以包围一些多分子体系而形成囊泡，单层的类脂层凹陷进去就形成了类脂双分子层。

原始细胞膜形成以后，其内部结构也逐渐复杂化，出现了具有不同功能的颗粒、核质、核蛋白粒、氧化粒等，形成了原始的细胞，完成了由非细胞向细胞形态的过渡。作为生命最基本的结构单元、功能单元和繁殖单元，原始细胞的产生揭开了生命史上新的一页。

科学家认为原始细胞形成以后，首先向原核细胞进化，在此基础上，又向真核细胞进化。原核细胞的结构比较简单，它只有细胞膜、细胞质和一个相当于细胞核的类核区，没有核膜。由于遗传物质直接裸露于细胞质中，不利于精确控制遗传与代谢的关系，因此原核细胞还是细胞的一种原始状态。现在生活在我们周围的这类细胞生物有细菌和蓝绿藻等，这类单细胞生物又叫原核生物。原核生物分为自养原核生物和异养原核生物两大类群。一般认为，由于原始海洋中含有大量有机物，最初出现的原核生物是异养型原始细菌。后来由于有机营养的匮乏，由原始细胞进化而来的含有叶绿素的自养生物——原始蓝绿藻由于适应环境而发展起来。自养原核生物把无机物合成有机物，异养原核生物把有机物分解成无机物，自养原核生物和异养原核生物构成了一个两极生态系统。

自养原核生物的出现有着深远的生物学意义。由于蓝绿藻可以进行光合作用产生氧气，使大气层出现了游离氧，并逐渐在大气上层形成了臭氧层。臭氧层的出现，阻止了紫外线的辐射，保护了原始生命体系不被破坏，从而为生命的进一步发展创造了有利条件。

古生物学发现，真核细胞的出现大约是在 18 亿年前。真核细

胞比原核细胞复杂得多，它已明显地分为细胞膜、细胞质和细胞核三个组成部分。细胞核内有染色体，染色体被核膜包围着，其中还有核仁。在细胞质里有若干细胞器如叶绿体、线粒体、核糖体、内质网、中心体、溶酶体、高尔基体、液泡等。显然，真核细胞是比原核细胞更加高级的生命形态。真核细胞的出现促进了生物进化速度的提高，现在地球上存在的多细胞生物都是由真核细胞组成的。

关于真核细胞的起源，目前主要有两种观点。一种是渐进说，这一学说认为真核细胞是由原核细胞逐渐进化而来的。原核生物经过一系列脱氧核糖核酸的复制和质膜的内折、凹陷、折叠、分离等过程，产生了由膜包围的细胞核和细胞器，再经过进一步的调整和进化而演化成真核细胞。然而这一学说难以解释同时形成的细胞核和细胞器却具有许多明显不同的生化特性。另一种是内共生说。内共生说认为真核细胞的祖先是一种大型异养巨核细胞，它偶然吞入了某种需氧细胞，未予消化反与之共生，这就是真核细胞内线粒体的来历；植物细胞中的叶绿体，也可能是被吞入的某种自养型细胞；其他的细胞器也是通过类似方式俘获而来，并与寄主细胞共生。但内共生说却无法解释内膜系统包括核膜的起源。总之，真核细胞的起源还有待于科学上的进一步探讨。

2. 从低等生物到高等生物的进化

结构和功能都较为复杂的真核细胞出现后，为生物进化确定了一个新的里程碑。一般认为，自然界出现了单细胞的生物之后，就出现了动物与植物的分化。

现代研究表明，真核细胞生物中的原始鞭毛有机体可能就是动植物的共同祖先。原始鞭毛有机体是一种同时具有动物和植物双重性质的生物。它们生活在水中，能够游动进行异养生活；因体内含有叶绿素，又能进行自养生活。据推测，动物的祖先就来源于一类运动机能得到强化、色素逐渐退化的原始鞭毛有机体；而植物的祖先则来源于另一类运动机能退化、光合作用能力大大加强的

原始鞭毛有机体。现今大多数动植物的雄性生殖细胞具有一条鞭毛，似乎也表明它们是从古代的鞭毛类有机体演化而来的。

单细胞动植物的进化，由于他们的进化途径不同，发展是不平衡的。有的仍停留在较低阶段，有的则进化到更高水平。单细胞动植物的进化途径有两条，一条是细胞在结构和机能上进一步复杂化。由于是单细胞，细胞内部无论如何分化，因为微小的体积限制了它们向高级发展，现今总还是停留在进化的低级水平上。另一条途径是多细胞集合群体的形成，即多细胞生物的出现。由单细胞到多细胞的过渡机制目前尚不清楚，但至今仍存在的团藻，或许可以看作是原始模式。团藻是由数以千计的小鞭毛虫借助胞间联丝排列在一起，形成一个有空腔的圆球体。团藻的大多数细胞是营养细胞，少数具有繁殖能力，开始出现了体细胞与生殖细胞的分化。细胞结构和功能分化使多细胞生物在进化史上具有了深远的意义，为以后生物体在结构和功能上进一步的分化创造了条件，也使动植物在进化历程上彻底地分道扬镳。

就植物界而言，经历了由水生到陆生的过程。继多细胞无根藻类之后出现的是苔藓，苔藓植物具有假根，可以生活在阴湿地带；然后是蕨类植物，蕨类植物开始登上陆地，它已经具有了陆地生活所必需的维管束，即完整的输导组织及机械组织，因而可以抵抗陆地上风暴的袭击。裸子植物是较高等的植物，但它裸露的种子还不能很好地抵抗陆地上严酷的环境；而后来出现的被子植物的种子被严密地包裹在果实里，是目前最高等的植物进化类型。

就动物界而言，从总的发展趋势上，也经历了一个从水生到陆生的过程。继最低等的单细胞原生动物后，接着就是两胚层的腔肠动物的出现。腔肠动物生活在水中，其网状神经系统的特点是牵一发而动全身。然后是体形为两侧对称的三胚层动物的出现，三胚层动物因口的形成方式不同而分为两大支：一是原口动物，向现代节肢动物方向进化；一是作为动物进化主干的后口动物，包

括属无脊椎动物的棘皮动物和脊索动物。脊索动物体内已分化出脊索、背神经管和鳃裂，它包括原始脊索动物和脊椎动物。脊椎动物的出现为动物进化开辟了一个新的前景。最低等的脊椎动物是生活在水中的鱼，然后是两栖类、爬行类、鸟类、哺乳类，逐渐由水中登上陆地，由鳃呼吸转变为肺呼吸，由冷血动物转变为恒温动物，由卵生转变为胎生，向地球生物的最高形式进化。

虽然科学界公认，现在地球上千姿万态的生物世界来源于一个共同的祖先，但对进化机制却至今未能得到完全一致的看法。进化论的先驱拉马克首先提出了“获得性遗传学说”，认为环境的变化会诱导个体产生相应的变异，即变异是定向的直接对应于环境的变化。其后由英国博物学家达尔文提出的自然选择学说，却更具说服力。达尔文指出，生物界普遍存在个体差异现象，且这种变异是可遗传的。在激烈的生存竞争中，适者生存，不适者遭淘汰，这一过程就是“自然选择”。通过自然选择，有利的变异逐渐积累，新的更高级物种遂由此形成。达尔文的学说一经问世，就获得了空前的成功，但它也有两个缺陷：一是没有很好地解决变异的遗传机制问题。1900年经典遗传学的诞生，弥补了达尔文进化论在这一点上的不足。杜布赞斯基等人结合群体遗传学等理论，发展了达尔文的自然选择学说，提出了综合进化论。综合进化论认为，任何物种存在着随机的可遗传的变异，这种变异只有经过自然选择的作用才能进入进化的轨道。二是按照达尔文自然选择进化观点，生物的进化是一个渐进的过程，但遗憾的是地史上的生物化石所显示出的情况却并非如此。鉴于此事实，1903年荷兰植物育种学家德弗里斯通过实验提出了突变学说，20世纪70年代美国科学家S.T.古尔德又提出了间断平衡理论。间断平衡理论认为生物物种不仅以渐变方式形成，而且还会以聚变的方式爆发性地产生；认为在化石的残缺期间，正是物种的静止稳定期。间断平衡理论的提出，将爆发式的大范围变化带入了进化理论中，这是对原

先渐变的进化模式的大胆突破，极大地丰富了人们对进化理论的认识。

20世纪分子生物学的诞生，使人们对进化机制有了更进一步的了解。现代达尔文主义承认突变的存在，认为可遗传的突变为生物的进化提供了原材料。但随着分子生物学向纵深发展，也出现了一种新的进化理论，这就是中性学说或称非达尔文主义。其创始人是日本的遗传学家木村资生以及美国科学家雅克·金和托马斯·米克斯。该学说认为，DNA分子结构在不断产生突变，在所发生的突变中，除了对机体的表现型可产生好的或坏的影响，从而可供自然选择外，还存在大量不好不坏、对表现型不产生影响的中性的突变，分子水平上的进化是由于基因不断产生中性突变，并通过随机漂变而在群体中消失或固定，经过亿万年的积累而造成的，与自然选择无关。这一学说在60年代提出后引起巨大反响，被认为是传统的以自然选择为基石的经典进化理论的一次重大冲击。但就连中性学说的创始人也不能否认的是，生物表现型的进化仍与自然选择密切相关。因此，从一定意义上说，中性学说仅是对达尔文进化论的修正或补充。

总之，进化机制的研究是一个非常复杂的问题。目前公认的仍是达尔文理论。20世纪下半叶以来，新的实验事实和新的理论不断涌现，已使人们对进化机制的认识更加深入了，不再局限于一种模式，这是科学认识上的一个更大进步。

第六节 人类的起源

关于人类起源问题，曾有“创世说”和“进化论”的激烈论战。随着科学的进步，人类是生物进化的产物的观点日益被人们接受，人类的出现被认为是生物界进化中的一个伟大飞跃，是整个自然界发展史上具有划时代意义的事件。

一、人类起源于动物

在生物科学分类中，人是属于脊椎动物门、哺乳纲、灵长目、猿猴亚目、人科、人属、人种。大量的比较解剖学、胚胎发育学、生理学、生物化学和古生物学证据已经表明，人是从动物界中分化出来的。人类起源于动物，但又超出于动物。

首先，从比较解剖学证据可以看出，人体具备着哺乳动物的一般特征。几乎人类所有的主要器官同脊椎动物、特别是哺乳动物的器官都是相应的，器官之间有着相似的结构图案。达尔文曾说：人类是按照其他哺乳动物同样的一般形式或模型构成的。人类骨骼中的一切骨可以同猴的、蝙蝠的或海豹的对应骨相比拟。人类的肌肉、神经、血管以及内脏亦复如此。……在一切器官中最为主要的人脑也遵循同样法则。面对人与哺乳动物之间相似的组织结构、同源性器官的存在，我们只能用共同的起源来解释。此外人类身上残存的许多痕迹器官和偶然出现的返祖现象，也表明人类起源于动物。

其次，从胚胎学方面也可以看到人类胚胎发育同动物进化历史过程相吻合。人类胚胎最初是以卵的形式存在，然后形成卵裂、囊胚、原肠胚。4至6周时，人体胚胎头部两侧显现出类似鱼类的鳃弓和鳃沟，躯干后端还有尾。5个月时全身长有胎毛，毛的排列方式很像黑猩猩。根据海克尔创立的生物重演律，这重现了人由动物进化而来的系统发育过程。如恩格斯所指出的那样：母腹内的人的胚胎发展史，仅仅是我们的动物祖先从虫豸开始的几百万年的人体发展史的一个缩影。

第三，从比较生理学的血清实验，证实人与高等猿类有较近的亲缘关系。实验表明，人血与猿血最接近，与猴远些，与其他哺乳动物相隔更远。另外，运用生化和分子生物学的方法，比较各种类型生物的细胞色素C的氨基酸也发现，越是接近人的那些动物，

其细胞色素 C 的氨基酸成分也越和人的成分相似。如猕猴和人的细胞色素 C 只有一个氨基酸的差别，而人类的近亲黑猩猩的细胞色素 C 则和人的完全相同。

第四，从古生物学方面发现的从猿到人的各种化石材料，更直接地反映了人类从动物界分化出来的历程。自 20 世纪 20 年代以来，人们不断在世界各地，特别在非洲大陆、亚洲、欧洲等地发掘出大量的人科化石。研究表明，年代越久远的人科化石与猿猴的形态越接近，越晚出现的人科化石与现代人形态越接近，可见人类是从动物界分化出来的。

二、人类的进化历程

据估计，人类最早起源于约 7 000 万年前生活在树上的一种原始灵长类，也称森林古猿。后来由于地壳运动以及气候的变化，森林地区逐渐减少，某些种类的古猿不得不脱离森林，到地面上生活，于是开始了向人类方向的进化。现代人类学以发现的化石为序，认为从猿到人的进化一般经历了五个过程。

1. 腊玛古猿阶段

腊玛古猿化石最早于 1932 年发现于印度。以后在亚洲西南部、欧洲西南部和非洲肯尼亚一带都有发现。20 世纪 60 年代中国云南禄丰也发现了大量腊玛古猿化石。据分析，腊玛古猿距今至少已有 1 400 万年，形态结构与人十分接近，生活在一种草地和林地混杂的环境中。现在较普遍的看法是，腊玛古猿是人类的早期祖先。在漫长的进化过程中，腊玛古猿的一支，为适应环境的变化，克服种种困难，向人类进化。

2. 南方古猿阶段

南方古猿于 1924 年最早发现于非洲南部，其年代从距今 400 万年前到大约 100 万年前。据研究确定，南猿已确立了两足直立行走的习惯，躯干、肢体已具人型，但脑量较小，仅 600 毫升左右，

是现代人的 40%~50% 代表着‘亦人亦猿’的过渡类型。南方古猿已能制造简单的工具。一般认为，从制造工具开始，人类便在地球上出现，以后便是人类的发展了。

3 直立人阶段

直立人生活于距今 20~200 万年以前。化石最早于 1890 年在印度尼西亚的爪哇发现，后来在亚洲、非洲、欧洲各地均有大量发现。中国的‘北京人’、‘蓝田人’都属直立人。直立人身材相对较高，脑量也增大，面部和牙齿相对缩小，已能完全用两足直立行走，但仍眉嵴粗壮，嘴部突出，带有一些原始性质。直立人的行为活动更为复杂，它们已能制造较为复杂的工具，使用火，狩猎一些大型动物。特别是狩猎，对直立人的大脑、身体以及社会性行为产生了重大的影响。

4. 早期智人阶段

早期智人也称远古智人或古人，生活在距今 4 万至 25 万年前。目前已发现的早期智人化石分布于亚洲、欧洲和非洲等地。最早发现的是生活在欧洲的尼安德特人。早期智人的主要特征是脑容量较大在 1300 毫升以上。形态特征较直立人进步，但仍保留着一些较原始的性质，如眉嵴发达、颌部前突等。早期智人制作工具特别是石器的技术有了进一步的发展，旧石器时代早期之末所采用的修理石核的技术，这时有了大范围的应用。并有证据表明，早期智人不但会用天然火，而且已能够人工取火。

5. 晚期智人阶段

晚期智人也称现代智人或新人。大约距今 4~5 万年前开始出现。这一时期的人类化石不仅发现区域数量多，而且分布也广泛。欧洲、非洲、亚洲、澳洲、美洲都发现了晚期智人的足迹。中国的山顶洞人就是晚期智人的代表。这一时期的人类在形体上已基本与现代人相似，脑的内部构造也接近现代人，不同地区各色人种已分化形成。石器时代达到顶峰，有了复合石器，还发展了骨器，

出现了陶器，标志着原始社会技术显著进步的弓箭也已问世，行业分工如制陶业、纺织业等已开始萌芽。

从此，人类在形体结构方面继续完善的同时，逐渐进入到精神方面的进化。人的思维机制日益进步，人类社会的科学技术和文化水平不断提高，制造出越来越先进、复杂的工具，改造着周围的自然环境和人类自己。

三、劳动在人类起源中的作用

在地球生命的演化过程中，适应环境以求生存也是人类进化的理论基础。但人类进化与一般生物进化有所区别，人类进化不是消极地适应环境，而是有意识、有意志地去积极、主动地适应周围环境。在这一过程中，劳动作为人类特殊性适应的表现形式，起着决定性的作用。恩格斯曾指出：“它是整个人类生活的第一个基本条件，而且达到这样的程度，以致我们在某种意义上不得不说：劳动创造了人本身。”

从进化过程看，营树居生活的古猿还不会劳动。但它们的前肢由于握取食物、攀援树木较多，因而与后肢有了初步的分工，直立行走则使前肢得到彻底解放。于是从使用天然“工具”这种动物的本能开始，逐渐过渡到终于能制造工具，才产生了真正的劳动。

正是在劳动过程中，人的手足得以分化和发展。在劳动中，手适应于愈来愈复杂的动作。功能的改变结合基因型的发展，引起了手的解剖结构的重要改造，如腕部的加强、掌骨的相对加宽、第二节指骨缩短加宽和拇指的特化等。随着手部骨骼的转变，手的神经、肌肉也经历了一系列的变化，结果形成人类所特有的高度完善的劳动器官——手。所以恩格斯说：“手不仅是劳动的器官，它还是劳动的产物。”^②脚也在行走、奔跑中逐步完善，随着足弓的

恩格斯：《自然辩证法》第149页，北京：人民出版社，1971年。

② 恩格斯：《自然辩证法》，第150页，北京：人民出版社，1971年。

出现而强化了人类在地面上的生活能力。

劳动还促进了人类语言的产生和发展。直立行走使肺不受压迫，呼吸自由，导致了发声器官的发展，首先为语言的产生提供了物质条件。但只是在劳动中，由于人与人之间发生彼此间的必然联系，这种联系又到了“彼此间有些什么非说不可的地步”^①时，才从根本上促进了语言的产生，并在日益复杂的劳动过程中，发展丰富了语言。

不可否认，人类意识的产生也离不开劳动的作用。意识是人脑的机能或属性，人脑又是在语言和劳动的推动下发展和完善的。神经生理学研究表明，人的大脑皮层是主导机体活动的最高神经中枢，其结构复杂，机能分区和调节作用精细。如主管手以及发音器官的大脑皮层就特别发达，这证明了劳动在促进大脑的发育中所起的重要作用。正是通过劳动，人们有了进行经验积累、思想交流、社会组织的需要，从而促进了人类的思维与意识的发展。当然，脑与意识的进一步发展又反过来作用于劳动和语言，为二者的进一步发展提供愈来愈大的推动力。

综上所述，作为人的主要特征的手、语言和意识都是在社会劳动的影响下形成和发展起来的。劳动使人得以摆脱动物状态，而成为生命演化的最高形式，并由此形成不断进步的人类社会。

恩格斯：《自然辩证法》第152页 北京：人民出版社，1971年。

第六章 人与自然互动图景

人与自然到底是一种什么样的关系？这既是一个十分古老的问题，又是一个正在引发激烈讨论的现代热点；既是一个分歧很大、争议颇多的理论问题，又是一个迫切需要统一行动、共同解决的实践问题。

第一节 人与自然关系问题的提出及历史思考

征服自然以求文明发展是人类与生俱来的信念与使命，它一方面构成了人类生存活动的内驱力，另一方面也构成了人类历史的深层意识。人和自然的区分，是天然而不可避免的。在自然界演化发展的特定阶段上产生了人，同时也产生了人与自然的区别和对立，产生了人与自然的关系。

人和自然的关系是一个极其古老的问题，它伴随着人类的产生而产生，又伴随着人类的发展而变得越来越复杂。自从出现了有意识和自我意识能力的人，他们就自觉不自觉地把自身同自然界区分开来，努力去思索：人是一种什么样的存在？人有哪些能力？自然事物是如何存在的？他们有哪些性质？并尝试理解人与

自然的区别、人对自然的依赖、人和自然的对立、自然对人的影响等种种关系。

随着人类社会的不断演进 尤其是科学技术的不断发展 人与自然的关系也发生了巨大的变化。近现代科技革命的每一次巨大进步，都迅速而深刻地改变着人类的思维方式、生产方式和生活方式，同时也改变着自然的面貌。人干预和破坏自然的能力得到一步一步的强化和延伸，在不断扩张的人口压力和不断膨胀的需求压力下，人和自然之间原本相对稳定的相互关系发生了剧烈的变动，原本相对和谐的关系出现了深深的裂隙，人和自然之间的关系出现种种严重失调，各种矛盾一一展现在人们面前，从空气污染、人口爆炸、粮食危机、资源短缺，一直到臭氧层空洞和温室效应。

危机特别是全球性危机，促使人们不得不重新思考人与自然的关系，不得不重新定位人在自然界中的地位，理性地对待人和自然。马克思的异化理论、唯意志论和存在主义的生存理论、弗洛伊德学说和法兰克福学派的文明理论、罗马俱乐部和美国未来学派的极限理论都从不同角度、不同层面揭示了现时代的危机和困境。所以自 20 世纪六七十年代以来，人对自然的关注大大地加强了，走出“人类中心主义”的呼声越来越强，人与自然关系得到了前所未有的重视。科学家、思想家都从不同的角度思索和理解人与自然的关系，政治家和普通民众都在关注人类自身行为对自然界的后果及影响。人和自然的关系成了人人关注的热点问题，成了与人类生存发展密切相关的关键性问题。人们在探索人和自然的关系，探索人类社会与自然界协同进化的可能性。

从古到今，人与自然的关系问题构成人类生存和发展的基本矛盾。这一关系问题不仅是整个人类生活的中心线索，也是人类哲学思考的重点问题。自人类诞生以来，人类就面临着如何看待自然、如何认识自身、如何解决人和自然的关系等问题。让我们沿着历史的轨迹，看一下古今中外的思想家们是如何思考这一问题

的。

古希腊罗马文明是现代西方文明的源头，那是一个思想活跃的时代。哲学家们对人和自然的关系问题作了种种思考，囊括了人和自然关系的各种问题和思路。毕达哥拉斯向他的学生和追随者宣讲“人和自然相和谐”的思想，赫拉克利特则谆谆教诲人类“要听自然的话”。特别值得一提的是普罗泰戈拉，他突破了把人还原为自然的理论模式，把人看作是成群结队地组织起来从而具有社会性和各种技术能力的生物，大大突出了人的主体性地位，他从人出发去正视自然，以人为视角去解说自然，用人的价值判断去评判自然，他说过这样一句名言：人是万物的尺度，是存在的事物存在的尺度，也是不存在的事物不存在的尺度。苏格拉底进一步把哲学思考的对象由自然领域转向了人和人类社会，完成了哲学重心由纯自然向人和自然关系的转移。他毕生关注的是正义、智慧、美德、善等等问题，在他那里人成了认识自然并有组织地进行社会活动的群体，自然成为与人类认识和人类活动相关联的存在，而不是人之外的纯粹存在。作为古希腊文明的集大成者，亚里士多德一方面研究集质料、形式、动力、目的四因为一体的自然界，另一方面又研究具有感性、理性和工具性的人类。他认为在人和自然的关系上，人不仅通过感官去感知自然，通过理性去洞悉和把握自然，而且通过技术活动去作用和改造自然。在他看来，技术活动一是完成自然所不能实现的东西，二是模仿自然。亚里士多德的思想体现了古希腊罗马时期人与自然关系理论的最高成果。

欧洲中世纪是封建生产关系占主导地位的时期，这一时期的主要意识形态是基督教神学。基督教作为占统治地位的思想，对人们的精神生活控制极严，影响极大，很自然地，人和自然关系理论带上了浓厚的神学色彩。在《忏悔录》一书中，奥古斯丁用大量篇幅去检讨人类的原罪，去祈求上帝的原谅，认为自然界不是因其自身而存在，而是因上帝的创造而存在，人也是上帝创造的，自然

和人类的存在都是上帝无所不能、无所不在的证明。神不仅是人和自然关系的缔造者，神还赋予人类对自然界的特权，设定了人和自然关系的基调 这就是 人类高于自然 统治自然。上帝说：“让他们统治海中的鱼 空中的鸟 地上爬行的一切动物。”《圣经》后期的托马斯·阿奎那则对上帝创造的自然界作了等级上的划分，确立了神、人、自然三者从高到低的等级关系 人一方面主宰自然 另一方面又受制于上帝，在人与自然的关系问题上，上帝是至上的统治者。

文艺复兴时期出现了一大批博学多才、百科全书式的人物 他们的共同特点是猛烈抨击宗教神学，把人和自然的关系理论从基督教思想的束缚下解放出来，重视人对自然的主体性地位，突出人的需要和欲望，强调人应该按其本性生活。他们把至上的神撇开，让人类正视自然界，直面自然界，面对面地与自然界打交道。在人和自然的关系中，人是主动者，人类既然能够认识自然和人自身，那就可以放心大胆地按照人类的本性生活。然而在法国思想家蒙田看来，人连宇宙的分毫也不能认识，更谈不上指挥和控制宇宙了，正是自然的法则指挥着自然，正是自然本身控制着它的过程。人类经验和理智活动的全部结果，无非是学会了认识自己的低能，所以人应该以自然为判据，最好回到人之初的天然状态中去。从英国的培根、洛克、休谟 到法国的笛卡尔、帕斯卡 再到荷兰的斯宾诺莎和德国的莱布尼兹，各国的思想家们进一步摆脱了上帝对人和自然关系的影响，把人作为宇宙的中心，把人置于征服自然和统治自然的主体地位。人类不仅有征服自然的愿望和动机，更有征服自然的工具和利器。这工具和利器在培根那里是“经验”和“知识”在笛卡尔那里是“演绎”和“推理”在斯宾诺莎那里是泛神论 是神、人、自然的一体化。斯宾诺莎把自然分成“产生自然的自然”和“被自然产生的自然”前者是他所说的神 后者是自然界的具体存在。在斯宾诺莎眼中，人也是一种存在物，但人有思想，思

想本是神的一个属性，所以人、自然、神是一体的。人是自然界的一部分，人不由自主地追求那完善的、圆满的自然界，人应该认识自然 追求自然 复归于自然。

稍后一点，18 世纪的法国思想家孟德斯鸠、卢梭、伏尔泰、拉美特利和百科全书学派的狄德罗、爱尔维修、霍尔巴赫等人，从不同的角度、不同的出发点去研究人与自然，却得出了一致的观点：自然界是人之外的客观存在，自然接受自然规律的控制和支配，人是自然界的一部分，人与自然界是统一的。人不应该背叛自然，不应该因为自己区别于万物，拥有理智和悟性就试图作自然界的暴君。因为人类的一切都根源于自然，来自于自然，受自然界的限制和约束。在孟德斯鸠那里 自然界不仅决定着人的一切方面 从生理机体、认识能力到本质属性，甚至还决定着社会制度、社会生产和文明程度。德国古典哲学时期的哲学家康德继承了古希腊以来人和自然关系理论上的优秀成果，从更大的尺度和更高的角度去研究人与自然的关系，认为人与自然是不同种类的存在，人与自然互为目的和手段。人为自然界立法，人通过认识自然而超越自然，获取自由。

现代西方哲学中人与自然的关系理论相当复杂。20 世纪四五十年代，随着系统科学的出现，人们开始用系统分析、层次结构、动态发展等新观点去研究自然，“人与自然新对话”，善待自然”等呼声日益高涨。很自然地，人与自然关系问题成了经济学家、哲学家、未来学家、自然科学家、横断学科工作者、技术开发人员竞相研究的对象。人们比以往任何时期都更关心这一关系，比以往任何时期都更热衷于这一理论。不论是科学主义思潮还是人文主义思潮，不论科技乐观主义还是生态悲观主义都在忙于自己的理论探索。

第二节 人类的新进化

人类作为地球上发展程度最高的生物，是生物进化链条中的最新环节，也是最高环节。但是，现代人类的产生并不单纯是生物进化的结果，劳动在这个过程中起着极为重要的作用。人类真正的劳动无疑是从制造和使用工具开始的。一般认为，制造和使用工具，是人类超出动物界的根本标志之一，是人类所特有的活动能力。现代类人猿偶尔也会做类似制造工具的事，如黑猩猩折断树枝掏取蚂蚁，但这不是经常的、普遍的活动方式，远远算不上制造和使用工具的劳动。正是这种制造和使用工具的劳动，才使人开始了真正的人类活动，创造出各种文明形式，真正地脱离动物界，由猿转变为人。而人类一旦从自然界中分化出来，就成为认识和改造自然的能动性力量，成为认识和改造自然的主体。自然成为人类活动所指向的对象，成为人类认识和改造的客体。在自然演化和发展的历史上，出现了一种前所未有的关系——人和自然的互动性关系。

在这种关系中，自然界不断作用于人，人也不断作用于自然界。在这种相互作用过程中，人类不仅生存繁衍下来，而且发展出空前的社会文明。与此同时，人本身也不断地演进和变化着。自从人类出现之后，人类的进化不仅没有停止，而且进化的程度更高，进化的速度更快了。人类的新进化包括两种形式，一种是体内进化，一种是体外进化。

人的体内进化。这种形式的进化既有人的身体机能，如跳跃能力、奔跑能力、心肺活力的提高和进步，也有人的精神方面的突破和发展。如人类的教育水平、认识范围、技术能力、思维方式都在不断提高。相对而言，人类身体机能的进化是一个长期的、自然的过程，主要是由于人类营养水平、生存状况、医疗卫生条件的改善

而带来的这种进化必然是有限的、缓慢的、逐步的、累积性的。例如，在百年奥运史上，我们看到了各项运动成绩的提高，但这种提高不可能是无限度的，事实似乎是，人类运动成绩每提高一步，我们就越加清楚地看到了运动极限、体能极限的存在，它已经离我们很近了。虽然借助于体育科技，如助跑器、鲨鱼装、新式跑鞋等，我们还可以提高运动成绩，但这种提高已经是缓慢的、断续的，甚至是艰难的。而体内进化的另一个方面——精神能力的进化，却是显著的、大踏步的。我们看到，科技革命一轮接着一轮，计算机技术在突飞猛进，信息高速公路在快速扩展，知识经济时代已经降临。每一个新名词，每一种新现象，都标志着人类认识能力的巨大进步，带来了人类精神生活的空前繁荣。与人类身体机能方面缓慢而不显著的进化相比，人类精神方面的进化是快速的、显著的，人类精神发展有着无穷的潜力，人类精神活动有着广阔的、无限的开拓空间。

人的体外进化。在不断发展的社会物质文明和精神文明的基础上，借助于科技发展，人们可以相对地延长人类的生物特性，相对地加强人类的自然禀赋，相对地突破大自然给我们设置的限度。这种形式的进步称为人的体外进化。首先，它表现为人类肢体的延长。工具、汽车、飞行器、起重机等延长了人类的肢体，这些工具弥补了人类肢体能力的不足，使人类有限的肢体能力得以延伸、得以发展，这是根本不同于改变肉体组织和结构而实现的肢体本身的进化，但却是人类所特有的、新方式的肢体进化。其次，人类感觉器官在体外的延长。例如，借助望远镜、显微镜、雷达、远红外遥感设备等，使人类突破了感官条件的限制，观测到了遥远太空中的星际现象，如蟹状星云，看到了微观世界原本不可见的物质，如病毒、细菌、原子。自然进化中形成的人类的感官局限被打破了，人类的感觉器官被延长了。再次，它表现为人类大脑在体外的延长。电子计算机之所以被称为电脑，就因为它虽然不是人脑，却能够代替人脑进行工作，其

计算速度、存储能力都是人脑所不及的，这种人造的机器已愈来愈成为人脑不可或缺的辅助手段。例如，用计算机模拟和分析大气环流变化，可以极为准确地预报近期天气变化，甚至科学家们正尝试使用计算机预测龙卷风、台风、飓风等自然灾害，试图揭开这些难以把握的自然灾害的奥秘，提前警示人类以减少损失。

第三节 人在自然中的位置

自古以来，人们一直在探讨人和自然的关系，但看问题的角度各有不同。在古代社会，人们是从人对自然的依赖关系出发谈论人与自然的统一性，例如中国古代的“天人合一”、“天人相干”等思想。中世纪时期，人们是从宗教观念出发谈论人与自然的关系，认为上帝创造了人类，上帝创造了万物，也统治着万物，人类虽背负原罪，但作为上帝的宠儿而存在。近代对人的地位问题的典型探讨要数英国 19 世纪著名生物学家 T. 赫胥黎，他有一篇著名演讲集就叫《人类在自然界的位置》。那时候，人们以达尔文的进化论为基础，从“人猿同祖”的角度分析人类和动物界的关系，明确人在动物界的位置。这种观点明确反映了 19 世纪人们看问题的眼光和出发点。现在，看待这一问题的主流观点和基本出发点已有所不同，我们现在是从人类子系统和自然巨系统的关系角度、从自然界的生态平衡角度出发，探索和研究人与自然的关系。

我们知道，自然是一个开放型的巨系统，自然系统的结构及其演化，是通过系统与外部环境以及系统内部各个层次、各个部分之间不间断的物质循环、能量流动和信息交换实现的。通过这种不间断的循环、流动和交换，达到和维持整个自然界的生态平衡。

早在 1935 年，英国生态学家 A.G. 坦斯利基于自己长期对植物群落的研究，借用当时流行的物理概念“系统”，率先提出“生态系统”这一科学概念。他认为生态系统的基本概念是物理学上使

用的系统整体，这个系统不仅包括有机复合体，而且也包括形成环境的整个物理因子复合体。也就是说，地球生态系统是指由生物群落与其生存的环境之间通过不断的物质循环、能量流动和信息联系而相互作用、相互依存的统一整体。在一定时期内，生态系统中的植物、动物和微生物的数量、种类、状况将保持一种动态的平衡，从而使系统保持稳定。这种平衡状态叫做生态平衡。

地球生态系统由以下四个基本部分组成（按其在系统中由低到高的位置）：

第四层次：生物的分解者（如各类微生物）

第三层次 生物的消费者（草食动物、肉食动物）

第二层次 生物的生产者（绿色植物和能自养的低等菌类）

第一层次 无机环境（空气、阳光、水、土壤、矿产资源等）

其中最基本层次是无机环境。广袤的土地、充分的水源、丰富的矿藏、源源不断的太阳光、包裹地球的大气层等等，是自然生态系统的基础和根基。它为处于第二个层次上的生物生产者提供了条件，使地球成为一个绿叶成荫、生机盎然的星球。种类繁多的植物，加上能够进行自养生活的低等菌类，几乎遍布地球的每一个角落，构成了居于无机环境之上的第二个层次。据科学家们估计，它们的总数约为 34 万种，为处于第三层次的生物消费者提供了丰富的食物资源，是大自然生态系统中关键的一环。第三层次的生物消费者内部包括两种类型，一种以低层次的植物为食，称为草食动物；另一种以本层次的草食动物为食，称为肉食动物，专以猎杀各种草食动物为生。在广阔的自然界里，动物是生物中最大的种群，共有 150 多万种，如果把亚种也计算在内，已定名的超过 200 万种。第四层次是食物的分解者，包括微生物和菌类，它们广泛地存在于自然界中，不仅和动植物共存共生，还充当着大自然的清洁工，消化和分解着各种动植物的尸体，把来自自然的东西再还给自然，把本属于自然的东西再归于自然。

人类在地球生态系统中位于第三个层次 是生物的消费者 而且是有史以来最惊人、最有威胁的消费者。人类不仅消费各种肉类、各种植物、各种菌类，而且大规模地开发和消耗各种自然资源，人类的消费范围把地球生态系统的每一个层次、每一个种类都囊括在内，从无机物到有机物，从矿产资源到生物资源，从植物到动物，从可见生物到微生物，无一幸免。现在人类活动的触角正在进一步延伸 延伸到远洋、深海、南极、地底 而且还将进一步延伸到地球以外的空间中去。

遗憾的是，作为消费者的人类在生态体系中没有初级生产能力，而是以消费者身份获取无机环境、生物生产者、低级消费者等各部分所提供的物质和能量。与此同时，人类基本不具备分解（还原者）能力，没有将自身有机物质还原为无机营养盐并提供给大自然的能力。人类从生态系统的两个方面承受恩泽，一方面是生物生产者和低级消费者及无机环境的贡献，另一方面是生物分解者的贡献。可是，由于人类具有高智能，具有其他动物都不具有的语言能力和意识特性，过着社会生活的人类远远超出其他物种，独自攀升到生态金字塔的顶端。人类把整个生态系统纳入脚下，从中获取人类生活所需的一切。按理说，高居金字塔顶端的人类是不受制约的。然而，如今的人类发展却受到了自然条件的种种制约。这是因为人类向自然索取的能力主要取决于两个方面：第一是与人口总量相关的消费总量，第二是人类所掌握的技术手段。人口数量失控，增长过快，已是人人皆知的事实，由此带来了消费水平和消费总量的猛增，人类只好加大向自然索取力度，以满足不断增长的消费需求。而与此同时，由于工业革命的冲击和科技革命的推动，人类所掌握的向自然索取的技术手段空前提高。然而，自然资源总量是有限的，地球的承载能力是有限的，这种有限性反过来限制人类的繁衍，制约人类的发展，这一点已越来越明显地体现出来。

自然界中的食物链有一个奇特的现象，就是它的营养级一般不超过四级，极个别的才有五级。根据生态学“金字塔规律”，生物体内贮存的能量在沿着食物链向上逐级传递时，逐级消耗，每传递一级就有大部分能量用于一系列生命活动，如呼吸、奔跑、觅食、繁衍等，确切地说，生态系统中的消费者最多只能把食物能量的4.5%~20%转变成自身物质。在生态系统中，能量沿着营养级单向流动，前一个营养级的能量大部分要维持自身的新陈代谢，只有少部分转化为蛋白质、脂肪、糖等，以满足下一个营养级生物的需要。生物圈层中的能量转化率是极低的，大约只有10%左右。这是1942年美国生态学家林德曼提出的“十分之一定律”，也叫林德曼效应。也就是说，如果一个池塘中，有1000千克的浮游植物，那么它只能养活100千克的浮游动物，而这100千克的浮游动物，只能养活10千克的鱼，而10千克的鱼只能让一个正处于发育期的少年增加1千克的体重。

我们看到，一只吃草的野鼠，只要在几平方米的空间内就可以找到足够的食物；而在一望无际的非洲大草原上，一个狮群必须占据数十公里的地盘，才能维持其种群生存。这也就是说，营养级越高的生物，它所耗费的食物资源越多，就越需要更多的低级营养源来供养。那么，高居于金字塔顶端的人类呢？要养活如此众多的人口，要满足不断增长的人类需要，整个地球的自然资源也远远不够了。所幸的是，人类不仅仅从自然界中获取现成的食物，人们还通过社会劳动，自己生产、畜牧、放养、制造食物。人类已摆脱了天然食物链的束缚，自己生产维持人类生存所需的食物和各种必需品。这是人类与动物的根本区别，也是人类能繁衍到如此程度的原因。

人类是一种杂食生物，既消费粮油蔬菜，也消费肉禽蛋奶。前者称为一级消费，后者称为二级消费，人类既是自然界的一级消费者，也是自然界的二级消费者。作为一级消费者时，人类的消费品

主要来自于农田系统。1950年到1985年，世界的耕地总量没有明显扩大，但谷物产量却从7亿吨增加到18亿吨，以满足不断增长的消费需要。目前全球年消费总量约为30亿吨。但是，粮食危机的阴影一直笼罩着人类，饥饿和粮荒在局部地区仍很严重，全球每年有数以万计的儿童死于营养不良。20世纪50年代，全球饥饿和营养不良的人口为2.3亿，80年代达到7亿，现在已超过8亿。另一个方面，急剧增长的人口压力迫使一些国家的居民仍然在不断焚烧森林和草地，以垦荒种田，养家糊口。但事实上，农田的净初级生产能力，从其产出的干物质、有机物、热量的水平上，都远远低于草原和森林，更低于河口地区。

作为二级消费者时，人类的主要消费对象是人工饲养畜禽的肉、蛋、奶，以及从淡水、海洋中捕捞的渔业产品。1984年，全世界牛、羊、猪的头数已分别达到14亿、16亿、8亿。1989年，世界水产品总量已超过1亿吨。1992年，世界牛、羊、猪肉的总产量为1.35亿吨，鸡蛋3555万吨，牛奶4.5亿吨。可以毫不夸张地说，人类是生态系统中最大的食肉种群。因为人类活动的缘故，许多的动植物物种已经灭绝或濒临灭绝，据估计，在未来的三十年中，地球上将有5%~15%的物种会消失，也就是说，每年将会失去1.5~5万个物种，或者每天将失去40~150个物种。生物多样性是大自然赋予的宝贵财富，人类却几乎摧毁了它。

更糟糕的是，人类向大自然索取的不仅仅是动物和植物，除了吃之外，人们还要满足住行穿用等多方面的需求，人类的索取范围直指生态系统中的每一个层次，连无机环境也不例外。全世界人口生存和经济发展所需的95%以上的能源、80%以上的原材料均取自不可再生的矿产资源（地下水除外）。20世纪以来，人类对矿产资源的需求显著增加，1901~1997年间，全世界采出的矿物原料增长了12倍，其中后36年为前60年的2.3倍。罗马俱乐部对资源需求的大幅增长作过研究和描述，认为人类对资源的需求将

呈指数增长，并推断地球资源，尤其是不可再生资源，将不可避免地被彻底耗尽或变得极其昂贵。“地壳含有大量原料，人类已经学会开采这些原料，并转化为有用的东西。不过原料的量也许很大，但不是无限的。现在我们已经看到，一个按指数增长的量多么突然地接近确定的上限。下述声明不应该使人感到意外：在目前既定的资源消费率增长的过程中，从现在起大多数很重要的不可再生的资源在 100 年中会是极其昂贵的。只要对资源的需求继续按指数增长，尽管对尚未发现的储量、技术进步、代用品或者再循环等等有最乐观的设想，上述声明仍然是正确的。那些静态储量指标最少的资源的价格已经开始上涨。例如，汞的价格在最近 20 年中已经上涨了 5%；铅的价格在最近 30 年中已经涨了 300%。”^①

总之，作为一级、二级生态消费者和矿产资源消费者的人类，是有史以来种群最大、最有威胁的消费者。人类高居生态金字塔的顶端，居高临下，俯瞰自然，不断地向自然界索取资源，不断地对自然施加影响。其结果却是，人口的增加失去了控制，自然资源快速耗竭，生态环境日益恶化，人与自然发生了尖锐的冲突。

第四节 人与自然的相互影响

人产生于自然界之中，是自然之子，是自然界的一部分。人的产生，一方面是自然界长期进化和发展的结果，另一方面也是社会劳动和社会进步的产物。经过长期的演化，人成为自然界物质演化的最高形态。与此同时，人又把自己从自然界中提升出来，脱离了自然界。因此，人不仅具有自然属性，而且具有社会属性。人是其自然属性和社会属性的统一。

自然属性是人作为自然的存在物所具有的属性，是人在生存

米都斯等：《增长的极限》，商务印书馆 1984 年版 第 45 页。

过程中从动物那里继承下来的生物特性包括获取食物、求生、繁殖等自然本性。自然属性是人类的基本属性，是经过长期演化而世代相传、相对稳定的生理机制与心理功能的沉淀。人的社会属性是人作为有意识的存在物所具有的属性，作为社会性的生物，人生活于各种各样的社会关系网络之中，并通过生产活动、政治活动、文化活动等形形色色的社会活动，有意识地改造自然，发展自身。

人的自然属性，体现了人有生物性的一面，它没有摆脱物质运动的生物形式、生物阶段，人类作为生物有机体，不得不被动地适应自然，不得不首先满足诸如生存、安全、繁殖等基本生理需要。人的社会属性，体现了人高于自然、超出动物性的一面，人即使在满足自己最基本的生物需求的时候，就以一种社会性动物的姿态，以一种社会生产的方式，以一种有意识地活动的特点，来满足自身生存和发展的各类需要。人的社会属性是人的根本属性，是人区别于动物的本质特征之一。人的自然属性和社会属性的两重性，体现了人既属于自然界，又区别于自然界；既是自然之子，又是自然的统治者；既从属于自然，又与自然相对分离的特殊关系。

一、自然对人类的影响

自从人类出现以后，地球的演变就不再是一个纯粹的自在过程，人类活动开始干预自然、征服自然、改变自然，还包括破坏自然。由于人类的活动，纯粹的自然过程终结了。自然过程中加入了人的因素，并发生了很大变化。

人类和自然的相互作用是在实践的基础上进行的，实践尤其是人类的物质生产实践和科学实验，构成了人和自然相互作用的纽带和中介。可以说，人和自然的相互作用过程，就是人类的实践发展过程。正是实践活动，把人和自然连接起来；正是实践活动，使人和自然双方相互影响、相互作用；正是实践活动的不断发展，

使人和自然的关系处于不断的变化之中。

自然及其演化，对人类社会的发展有极其重要的影响，主要体现在以下四个方面：

第一，人类与自然界的化学同构性。现代科学研究证明，人体作为一种生命有机体，主要由碳、氢、氧、氮等元素组成，其中前三者是构成碳水化合物的主要成分，后者则是构成氨基酸、蛋白质和核酸的主要成分，他们全都来自于大自然。人体血液与组织中，60多种化学元素的含量与地壳中所含元素的丰度有明显的相关性，在人体总量中占最大比例的水、微量元素钠、镁、锌、铁等都是从自然中摄取而来的，而且它们的含量与其在自然环境中的分布是极其接近的，这一点被称为人与地球环境的化学同构性。我们完全可以说，人类是地球化学组成中的真正同构物。人类起源于自然界，演化于自然界，发展于自然界，是自然界的产物，是自然界的一部分。自然界是人类得以产生的重要前提，没有自然界，就没有人类本身。

第二，一定的自然条件是人类得以产生并存在的前提，它不仅为人类提供了各种不可或缺的自然资源，也为人类提供了广阔的活动空间。没有大自然提供的阳光、空气、水、森林、草场，没有辽阔的地球空间和外太空，人类根本不可能生存下去，更不可能世代繁衍下来。天文学和宇宙学的成果告诉我们，迄今为止，地球是我们发现的惟一适合各种生命生存的场所。人类是在自然界漫长的演化过程中产生的，没有自然界的存在和不断演化，没有适于生命存在的必要条件，人类根本就不会出现在地球上。生命的起源，生物的进化，人类的出现，都依赖于特定的自然环境，都是自然界不断发展、不断演化的必然结果。自然环境作为人类赖以生存的基本条件，在自然资源和地理环境比较优越的地区，如平原、盆地、河流两岸及一部分丘陵地区，人口快速繁衍，人类文明蓬勃发展。在另一些地区，自然条件的急剧恶化和破坏，也曾导致了一部分人类

文明的灭绝。人类的生存发展离不开各种各样的自然条件，它们是人类赖以生存、繁衍以及进一步进化的物质基础，是人类不可或缺的基本保障。

第三 不同的自然环境影响着人类的生产方式、生活方式和相应的文化特点。首先，一定的自然环境影响着人类的生存方式和生产方式，正如波兰经济学家安·克瓦普科夫斯卡在《环境保护与经济效果》中所说：“在经济过程中，自然环境的作用无论在生产领域还是在消费领域，都是十分活跃的。”（载《经济学译丛》1983年第3期）很显然，在干旱草原适宜发展畜牧业生产方式，在沿河流域适宜发展谷物种植业，在热带雨林区则适宜发展林果业，河口和沿海地区则天然地适宜发展捕鱼业、水产养殖业。其次，自然环境还通过对生产方式的影响，进而影响人类的生活方式和文化特点。中东波斯湾地区是目前世界上最大的油田，那里是古地中海的一部分。在漫长的地质年代里，地中海丰富的生物资源，如各种动物、植物、浮游生物等，在海流、盐度或其他条件发生变化之后，大量死亡，沉落到海底，慢慢形成石油和天然气资源。这里独特的沙漠环境、干旱气候、石油资源等自然条件，不仅影响了那里的产业结构，也影响了那里人民的生活方式、风俗习惯，形成了独特的人文景观。

第四，特定的自然条件优劣与否，对人类社会的发展起着推动或延缓作用。如上所述，气候、土壤、河流、植被等条件对于畜牧业和农业有着重要的影响，而煤炭、石油、有色金属、放射性元素等资源对现代文明的影响也是举世公认的。自然条件的状况如何，直接影响到该地区的劳动生产率和生活水平，也造成了地区发展的差异。得益于优越的自然资源，一些中东产油国一跃成为世界上屈指可数的富裕国家，而一些自然资源相对贫乏的国家和地区却不得不更多地面临资源短缺的困境，不得不为经济发展付出更多的代价。当然，如果从历史的角度看，人对自然的依赖关系是不断

变化的。在人类社会发展的不同阶段，自然环境、自然资源对社会的作用和影响程度各不相同。随着生产力的不断发展和科学技术的不断进步，自然对人类社会的影响程度在不断变化，原有意义上人对自然的依赖关系被相对削弱了。

二、人对自然的影响

人类不仅是自然界的一部分，还是自主的、能动的主体，人类在受制于自然的同时不断地改造自然、征服自然。人类对自然的改造，是一个不断加深、不断扩大的过程。这首先是因为地球上的人口总量在不断增加，而增加了的人口必然引发越来越大的需求。另外，人类在改造自然的过程中，其组织程度越来越科学有序，其技术手段越来越强大犀利。人类活动对自然的影响，主要体现在：

第一，大规模的人类活动，极大地改变了地球表面的原始结构和本来面貌。目前，地球表面的原始面貌只有在人迹罕至的地方，如南极、深海等地才可以找到。人类从事大规模的生产活动，如开垦土地、砍伐森林、兴建村落、扩展城市、拦河筑坝、铺设道路等极大地改变了地球表面的原有地貌。人类按自己的需要建立起自然界本身并不存在的人工自然，人类按自己的喜好改变着地球的本来景观和风貌，在大自然的躯体上处处留下了人类活动的迹象，打上了人类活动的烙印。从小小的村落聚居到建立遍布全球的现代城市，从原始的刀耕火种到大规模地开垦土地、整修梯田，从穿行于田间地头到奔驰在高速公路上，从瓦罐汲水到密如蛛网的输水系统，人们把自己繁衍生息的地方、劳作的场所和休闲娱乐的所在一一改头换面。大自然的本来景观被人为地改变了，人工制造的各种产品充塞着人们生活的每个角落，人为设计的各种景观拥挤在大街小巷。自然被改造过了，自然被人化了，成了面目全非的人工自然。不管我们喜欢还是不喜欢这种变化，欢迎还是拒斥这种改变，我们不得不承认，大规模的人类活动，极大地改变了自然界

的本来面目，添加了无数的人工自然景观，改变了地球表面的形态，形成了新的地貌结构。

第二，人类活动的各种产物和后果，被施放到自然中去，改变了地球各个圈层的成分，影响到自然系统的物质流动和能量流动。地球表面积的 74% 被水以固、液态覆盖，总水量面积 13.86 亿平方公里 其中 咸水 13.51 亿平方公里，占全球中水量的 97.5%；淡水（包括冰川）只有 0.35 亿平方公里，占全球总水量的 2.5%，其中冰川占淡水总量的 70%。与人类生产、生活密切相关，并可开发利用的水资源只占全球总水量的 0.3%，约 104 亿立方米，且时空分布极不均衡，有的地方缺水，有的地方洪涝。面对这样一种水资源严重短缺的局面，人类作出了极大的努力。但结果呢，引水济城的行为固然解决了城市居民用水，却改变了河流流向，容易导致原有流域生物群落的衰败；拦河蓄水灌溉农田，固然有利于农业生产，却剥夺了下游生态系统的合理用水，阻断了水生生物逆流而上的通道。而植被的严重破坏，使大自然水土保持和自动调节水的丰枯能力大大降低，水丰时涝灾，水枯时旱灾，洪涝灾害频频发生。近一百年来，人类大量燃烧化石燃料，排出二氧化碳，使空气中二氧化碳的含量从 $270\text{mL}/\text{m}^3$ 增加到 $350\text{mL}/\text{m}^3$ ，其他如甲烷、氧化亚氮、氟利昂等含量也大大增加。大气从人类活动中所接受的硫，与从海洋、沼泽和火山爆发等自然现象中接受的硫同样多，数量约在 7 500 万吨到 1 亿吨左右。另据估计，人类活动排放的氮氧化物占空气中氮氧化物的 75%~90% 左右。自工业革命以来，人类活动带来的物质移动成倍增长，所制造的物质形态大大增加，它们分别影响到土壤、大气、水圈、生物圈的物质循环和流动，导致大气污染、酸度增加，并进一步对土壤、淡水、作物、动物等造成损害。

第三，人类活动作为触发因素加快或减慢自然过程的速率。例如，在土壤侵蚀中，由于人的作用，全球每年每平方公里上所损

失的土壤约为 150~85 000 立方米。而天然侵蚀的背景值只有 12~1 500 立方米。据地质学家谢尔登·贾德森 1968 年估算：通过江河带进海洋的土壤沉积物，在农业、畜牧和其他生产活动之前，每年为 90 亿吨，现在已增至 240 亿吨。同时，为了增加粮食产量，人类投入的化肥量在过去的 40 年中增长了 10 倍以上，其中相当大的部分已随水土流失进入海洋之中；另外，荒漠化导致数量庞大的风蚀土壤作为沉积物进入海中。毋庸置疑，正是人类的活动加剧了土壤的剥蚀与侵蚀过程，加快了土壤的流失速度。目前，全球每年排放污水 4 260 亿吨，造成 55 000 亿立方米的水体污染，生物物种以每天 40~150 个的速度消亡，植被、森林以每天 470 平方公里的速度被破坏，人类活动导致了生态环境的急剧恶化，加快了生物物种从地球上的消失速度，导致了今天物种锐减的局面。当然，从积极的方面讲，人类可以通过人工降雨、植树造林、培育作物等改变和美化环境，丰富动植物资源，使自然过程向更好的方向加速发展。例如，为了获得稳定可靠的供水以弥补天然水源的不足，人类在江河上建立了成千上万座水库，这些水库的蓄水量已超过 2 000 立方千米，使来自地下水和湖泊的 12 000 立方千米的总供水量增加了 17% 左右。人类还可以通过已开发的核裂变反应和进一步的核聚变反应，补充新能源，改变自然资源中能源供应不足的状况。据科学家们推算，地球上和宇宙空间中氢的含量是用之不竭的，氢的含量占宇宙重量的 93.3%，占地球重量的 46.6%。如果未来的和平利用核能技术能够模仿太阳的核聚变反应，那么今天人类所面临的严重能源短缺问题或许就迎刃而解了。

第五节 人与自然关系的历时图景

人类产生之时，就产生了人与自然的分化，产生了人与自然的的关系。人们发现随着人类社会的不断发展，人与自然之间的关系

也在不断改变。

第一阶段：人对自然的依赖。

在整个古代社会 由于科学技术发展程度很低 人类不能正确认识自然界的本来面目，对人类自身的一些现象也不了解。那时，从笼统的“智慧之学”哲学中分离出来的科学门类只有数学、天文、历法、医学、逻辑、修辞等少数几门 而古代技术则集中在建筑、水利、制陶、冶炼等几个实用方面。当时 地球上的人口还很稀少 人口的增加速度极其缓慢，人均寿命不足 40 岁 所以 人类的总需求还很有限，人类向自然索取的物品还很少，更重要的是人类满足自己需求的手段还很原始，技术水平很低。那时，人类难以摆脱如下两个基本事实：第一，自然以其优势力量统治着人类；第二，人类对自然界知之甚少。人在很大程度上依附于自然，自然是人类的统治者。这一统治者被人神化了，普通的自然现象被想象成各种神灵 它们高高在上 俯瞰着人类 统治着人类 决定着人类的世俗生活。人类和自然的关系，是被统治与统治的关系，是依附与被依附的关系。人类不可能摆脱大自然所施加给人的各种束缚，人类敬畏自然 膜拜自然 通过祭祀、巫术、宗教、神话等传递人们的观念和信 息 与神灵沟通 向神灵祈求 以期获得神灵恩典 降福于自己并消除灾祸。

当时 人类的各项活动 主要是采集狩猎、农耕农作、手工制造等。这些活动所能施加给自然的影响还很小，不足以大规模地改变自然的面貌；人类通过物质生产活动向自然索取的物品还很有限，不足以达到自然资源的供给限度；人类活动向大自然排放的各种废弃物还很简单，基本上可以被自然所同化；人类活动的技术手段还很低下，不足以威胁到自然本身的生态平衡。这个时期，人类自觉到自己的渺小，慑服于自然的宏大，人对自然的敬畏和依赖，是人与自然关系的主要基调，人不能不敬畏自然，崇拜自然，依赖于自然。相应地，在这一时期，人与自然的关系相对协调，相对和

谐。

第二阶段：人对自然的掠夺。

近代社会，科学和技术有了一定程度的发展，尤其是哥白尼革命给了占统治地位的宗教神学以沉重打击以后，近代科学以前所未有的速度发展起来。人们把上帝从高高在上的主宰者的地位上拉下来，认识到人是自然界的一部分，是自然界长期发展的产物。是人造了神，而不是神造了人，人成了一切问题的出发点和核心。19世纪著名人本主义思想家费尔巴哈曾经说过：人不是导源于天 而是导源于地 不是导源于神 而是导源于自然界 人必须从自然界开始他的生活和思想。

此时，天文学、物理学、化学、地质学、生物学、经济学、人类学、社会学等学科纷纷建立，珍妮纺纱机、水力织布机、蒸汽机、内燃机……新技术层出不穷。而技术革命又带动产业革命，从英国蔓延到欧洲和北美各国，物质财富空前繁荣。近代科技革命的辉煌成就和人文主义思潮大大激发了人类的自尊心，人类的地位空前提高，成就感不断膨胀。人们感觉到自己乃自然之主宰，可以认知自然，征服自然，人是万物之灵，无所不欲，无所不能。同时人们误认为自然资源是不会穷尽的，取之不尽，用之不竭。面对大自然，人们开始无止境地开发，无止境地索取，无止境地贪求。另一方面，世界上的人口总量快速增加，不断膨胀的人口压力扩展了人们对食物的需求，为了扩大耕地面积，人们开始砍伐和烧毁周围的森林，开发利用荒坡草地，围堵回填湖泊湿地，致使森林锐减，草场退化，土壤侵蚀。同时人类也开始大规模地开采利用各种自然资源，从各种能源到有色金属，从动物资源到植物资源，从地表到地下，从陆地到海洋，只要能为人所用，人们就毫不迟疑地开发、挖掘，而丝毫不顾及这种行为的后果。

第三阶段：自然对人类的警示。

纵观整个社会历史，人口的最大规模增长，发生于工业革命之

后。由于近代医疗保健水平的不断提高和基本生活资料的不断丰富，使得人口平均寿命和人口总量迅速增长，人口倍增时间缩短，出现了所谓的“人口爆炸”。世界人口 1830 年为 10 亿，1930 年为 20 亿，1960 年为 30.27 亿，1976 年为 40.44 亿，1987 年 7 月达到 50 亿，1999 年 10 月达到 60 亿。人口学家们预计 21 世纪中叶地球上的人口总量将达到 100 亿。人口的快速增加，刺激了工农业生产的快速发展。而借助于科学技术的不断发展，人类不断加大向自然索取的力度，不断扩大向自然索取的范围。人们把自然当作取之不尽、用之不竭的原料库，滥用资源，浪费资源。自然资源在迅速耗竭，资源短缺的矛盾不断地困扰人类。1973 年爆发了第一次全球规模的石油危机，80 年代爆发了第二次全球石油危机，2000 年则又出现了第三次石油危机，原油价格暴涨到每桶原油 35 美元以上，欧洲各国普遍出现了围堵加油站和炼油厂、抗议政府不能控制油价、要求当局降低燃油税费等风潮。与此同时，对土地的过度开发，导致土地沙化、退化，土地资源面临着有史以来严重的形势，土壤过度流失的直接后果是土层变薄，土地生产能力下降。全世界约有 35% 的土地面临沙漠化的危险，从 19 世纪末到现在，荒地和干旱区的面积由 0.11 亿平方公里增加到 0.26 亿平方公里，每年的畜牧业损失达 260 亿美元。另外，人类的活动还造成了全球森林锐减，草地破坏。1950 年以来，全世界损失了一半的森林面积，其中热带雨林的损失速度最为惊人。30 年中，有 40% 热带雨林被破坏，其中印度和马来西亚 336 万平方公里的热带雨林现在只剩下 36%，非洲只剩下 40%，拉丁美洲还有 81%。按此速度，热带雨林将会在 180 年内完全消失。环境的破坏、自然栖息地的缩小还导致了生物物种的灭绝，而物种的灭绝是一个不可逆转的过程，一部分关键物种的灭绝又可能导致整个生态系统的崩溃。

恩格斯早在《劳动在从猿到人转变过程中的作用》一文中就指出：“我们不要过分陶醉于对自然界的胜利。对于每一次这样的胜

利 自然界都报复了我们。”美索不达米亚、希腊、小亚细亚以及其他各地的居民，为了想得到耕地，把森林都砍完了。但是他们梦想不到，这些地方竟成了不毛之地，因为他们使这些地方失去了森林，也失去了聚集和贮存水分的中心。阿尔卑斯山的意大利人，砍光了在北坡被十分细心地保护的松林，他们没有预料到，这样一来，他们把他们区域里的高山畜牧业的基础给毁掉了；他们更没有预料到，他们这样做，竟使山泉在一年中的大部分时间内枯竭了，而雨季又使更加凶猛的洪水倾泻到平原上。”^① 可惜 在恩格斯的时代，人们并没有真正认识到这一点。在过去的这一段时间里，人类不仅没有反思自己的行为及其后果，反而不断地加大对自然的索取力度，导致了愈来愈严重的环境危机。各种各样的固体、液体、气体废料不断地排放到周围环境之中 空气污染 水体恶化 噪声刺激，垃圾包围……人类的生存环境一点点地恶化起来。酸雨使建筑物遭到腐蚀，森林变枯萎；废气使空气质量恶化，臭氧层空洞增大；废水使生态环境恶化，动植物资源锐减；水域污染使赤潮频繁，渔业生产遭受损失；温室效应使冰川融化，海平面升高。气候恶化使全球人类不断遭受自然灾害的侵扰，厄尔尼诺、拉尼那现象交替出现……

自从 20 世纪 30 年代以来 比利时、美国、英国、日本等国先后发生了烟雾事件，伦敦烟雾事件和洛杉矶光化学烟雾事件的影响最大。1952 年 12 月 5 日～8 日，正值寒冬的伦敦烟雾弥漫，成千上万烟囱黑烟滚滚，尘粒浓度增加为平时的 10 倍，二氧化硫浓度为平时的 6 倍，烟雾中的三氧化二铁使二氧化硫氧化，产生硫酸泡沫，凝结在烟雾上形成酸雾。伦敦城四天死亡 4 000 余人，以后的两个月中又陆续死亡近 8 000 人，这就是震惊世界的伦敦烟雾事件。而美国洛杉矶临海依山，处在 50 公里长的盆地之中，风景优

恩格斯：《自然辩证法》第 158—159 页 北京：人民出版社，1971 年。

美，三面环山。这种特殊的地理位置，使洛杉矶常出现上层空气比下层空气暖和的逆温层气候，这种气候使空气流通不畅，1946年、1954年、1955年连续出现烟雾事件。洛杉矶烟雾中的主要污染物是汽车排放出的碳氢化合物、一氧化碳、氧化氮、铅等。在强烈日光紫外线的作用下，这些汽车尾气发生光化学反应，呈现浅蓝色，形成以臭氧为主的光化学烟雾。这种烟雾使人眼睛红肿，喉咙疼痛，严重的呼吸困难，视力减退，手足痉挛。1955年的光化学烟雾造成的危害最为严重，66岁以上的老人就死亡400多人。

全球较为严重的环境污染事件还有日本的镉米中毒事件和米糠油事件，印度的剧毒化学物质泄漏，前苏联切尔诺贝利核泄漏，油轮沉没造成的海洋污染和海鸟死亡等。自然警示的钟声一再敲响，人类终于觉醒了。

第四阶段：人和自然的和解。

早在20世纪30年代，利奥波德首先提出了大地伦理思想，开始超越人类伦理的狭小范围，关注自然环境，并把整个地球表面纳入人类伦理应该关注的范围之中。紧接其后，是《沙乡的沉思》、《象山那样思考》两部书的出版。1962年，卡逊发表科普读物《寂静的春天》，康芒纳发表《封闭的春天》，揭示了环境污染及其后果。1971年，罗马俱乐部发表了《增长的极限》一书，更引发了全球范围的大讨论。此后比较有名的著作有戈德史密斯的《生存蓝图》、舒马赫的《小的是美好的》、米萨诺维克等的《人类处在转折点》、卡恩的《今后200年》、星野芳郎的《未来文明的原点》、西蒙的《最后的资源》、佩奇的《世界的未来》、汤因比与池田大作的《展望二十一世纪》等。在此潮流推动下，上至各国政府，中至民间组织，下至普通国民，环境意识空前提高。一部分发达国家政府开始对环境破坏加以限制，各种措施相继出台；绿色和平组织、动物保护协会等民间组织层出不穷，在禁止捕鲸、保护动植物方面做了很多工作。普通市民们也积极参与各种活动，如日常垃圾分类，减少环境污染

等。一些发展中国家也开始行动起来，比如在中国的各大城市，汽车尾气的控制标准正在向国际标准靠拢，对污染企业加以限制并实行‘谁污染 谁治理’的原则 城市绿化面积不断增加 空气污染指数正在逐步降低。

可以说，正是前一阶段对自然的肆意掠夺和对环境的极大破坏，迫使人们真正认识到资源保护和环境保护的重要性，迫使人们行动起来。总的说来，最近几十年，在改善人与自然关系、保护自然资源、保护生态环境方面，人们主要做了如下四个方面的工作：限制、治理、预防、规划。

第一，限制。首先是限制污染源。许多国家都规定了废水、废气的排放标准，工业废气必须首先加以净化处理，达到标准才可以排放；汽车有尾气净化装置，并提倡使用更加清洁的能源；对工业和生活用水进行处理，二次应用；关闭达不到上述标准的企业，减少了现行的各种污染。其次是限制人类对自然的索取力度。世界上的许多国家对砍伐森林作了限制，砍树的同时必须栽种幼苗；在一些月份禁止放牧，不准牛羊上山；渔船定期禁止出海，以蓄养海产资源；甚至对钓鱼都作了规定，不够重量的鱼必须放生等。最后是限制人类自身的过度繁衍，控制人口数量。在整个人类史上，共有三个人口增长高峰，分别由制造工具的革命、农业革命、工业与科技革命所引发。人口的过度繁衍，是人与自然关系恶化的根源之一。一些国家如印度、中国等已经行动起来，控制人口过快增长。20世纪70年代以来 中国共少生人口约3亿。

第二 治理。自20世纪60年代末、70年代初，北美、日本、西欧各国采取措施，加大环境保护的力度，制定法律法规，设立环境管理机构，增加环保投资。美国于1969年通过《国家环境政策法》确立了环境影响评价制度，1970年设立环境保护局。在70年代 美国用于环境保护的资金 占其国内GNP的2%~3% 耗资巨大 其他发达国家也纷纷投资 加大环保力度，70年代后期以

来，这些国家的环境质量已经有了相当程度的好转。80年代以来，发展中国家也开始注重环保，加强了对污染的治理。近些年来，各国还纷纷开辟了野生动物保护区，对珍贵的野生动植物资源加以保护，防止其灭绝；许多国家还停止开荒种粮，反过来植树种草退耕还林绿化荒山，抵制沙漠的扩大和流动，使自然环境有了改善。

第三，预防。预防是指预防环境污染和生态破坏，这实际上是指防治结合、以防为主，而不是“先污染后治理”。沉重的环境治理代价使人们认识到预防的重要性，何况有些环境污染和资源破坏是不可逆转的。1972年，第一次人类环境会议在斯德哥尔摩召开，114个国家和地区的代表参加了会议。大会提出了“只有一个地球”的呼吁，通过了《斯德哥尔摩人类环境宣言》。70年代后期以来，世界各国的环境保护行动，从预防工业污染扩大到自然资源保护，并于1980年签署了《世界自然资源保护大纲》，要求各国采取国际合作，保护和利用人类共有的资源和财富。

第四，规划。规划是指对自然环境进行整体规划和综合协调。地球生态环境是一个相互关联相互作用的整体系统，必须对其各个方面、各个环节加以协调，把全球资源、全球生态纳入一个长远性的、整体性的规划之下，然后加以合理利用、适度开发。80年代以来，许多国家把环境保护的重点放在建设“第三代环境”上来。所谓“第三代环境”就是追求人类工作、生产、生活环境的舒适性。这些国家制定了经济增长、自然资源、环境效益相结合的长远政策，强调人类与环境的协调发展。中国政府把合理开发和充分利用自然资源作为我国环境保护的基本国策，制定了“三同步”、“三统一”的策略。“三同步”是指经济建设、城乡建设和环境建设同步规划、同步实施、同步发展，“三统一”是指经济效益、社会效益、环境效益三方面的统一。在此指导下，中国在防治工业污染、实施环境综合治理、保护生态环境方面取得了明显的进展。

第六节 人与自然的协调发展

一、人与自然协调发展的必要性

人类社会在不断地发展着，自然界本身也在不断地演化着，如何使一切人类活动都能与自然界由此引起的变化相适应，即在认识自然规律、利用自然规律，而又不违反自然规律的前提下，使自然界的演化朝着更加有利于人类社会的方向发展，也就是保证人与自然的协调发展。这种协调发展并不是简单地恢复或维持某种自然平衡，而是在充分尊重自然、充分尊重其他生物的前提下，达到某种自然平衡，并使之成为人类社会的长远发展提供经济利益、社会利益和环境利益。

我们认为，人类活动的各种负效应的不断加剧，是实现人与自然协调发展的第一个理由。而人类世代必须生存下去、必须更好地生存下去，是实现人与自然协调发展的第二个理由。第一个理由和第二个理由都是现实的、客观的，都是有利的、紧迫的。实现人与自然协调发展不是一个无关轻重的小问题，而是关系到人类生死存亡的现实问题，是关系到子孙后代利益幸福的大问题。这个问题已经迫在眉睫，人类不得不正视它，不得不探讨它，又不得不解决它。

关于人类行为在自然界造成的负面效应究竟有哪些，人类行为引发的种种严重后果到底是什么，目前比较有影响的提法有以下几种：

1. 罗马俱乐部的报告

在其报告《增长的极限》一书中，罗马俱乐部的学者们借助于 J. W. 弗雷斯特系统动力学模型，考察五个相互关联的因素：人口、工业化、粮食生产、资源消耗、废弃物排放，并借助计算机来处

理他们的数据。其结论是：“人口、粮食增长、工业化、污染和不可再生的自然资源的消耗还在继续增长。每年它们以数学家称为指数增长的模式增长着。”^① 并由此提出现代人类面临的“五大问题”：

(1)“人口爆炸”。世界总人口呈指数增长，甚至是超指数增长。1650年世界人口大约是5亿，增长率约为每年0.3%，也就是说，将近250年翻一番。1970年人口总数是36亿，增长率约为2.1%。按这个增长率相当于每33年翻一番，称之为人口爆炸，毫不过分。

(2)“粮食危机”。20世纪30~70年代，拉美、非洲、亚洲先后从粮食净出口地区变为粮食净进口地区。1978年联合国粮农组织对非洲53个国家和地区的调查表明，粮食不足的有15个（自给率在80%~94%）；严重缺粮的有9个（自给率在60%~79%）；极端缺粮的有10个（自给率在60%以下）。1968~1997年间，发展中国家和地区死于饥饿的人数为700万人左右。

(3)“资源耗竭”。“只要人口增长和经济增长的正反馈回路继续产生更多的人口和更高的人均资源需求，这系统就被推向它的极限——耗尽地球上不可再生的资源。”尤其是土地、石油、天然气及各类有色金属资源最为显著。根据他们的估算，全世界铜的可利用年限是21~48年，铝125~145年，此后资源将耗竭，或变得极其昂贵。

(4)“工业化问题”。世界工业生产以1963年为基础，也显示出清楚的指数增长。毋庸置疑，工业生产的指数增长和人口的指数增长一起，导致了粮食、资源、环境危机的加剧变化。

(5)“环境污染问题”。例如，当时洛杉矶盆地的4000平方英里释放的废热约等于地面吸收的太阳能的5%，按这一增长率，

米都斯等：《增长的极限》，第14页，北京商务印书馆，1984年。

2000年达到入射太阳能的18%。这种热是一切能源生产和消费的结果，已经影响到当地的气候。另外格陵兰冰块中沉积的铅的数量自1940年以来，每年增加300%。农药 DDT 则在鱼类、鸟类以及人类的脂肪中堆积起来。

2. 困扰全球的四大显性危机（这是目前比较盛行的提法）

- (1) 人口爆炸”。全世界每秒钟增加3个人 每天增加25万人。
- (2)“资源匮乏”。全球的各种自然资源在迅速耗竭。
- (3) 环境恶化”。大气污染、臭氧层空洞等。
- (4)“生态失调”。植被遭破坏、生物多样性减少等。

3. 有的研究者则把人对自然的破坏具体化为十五个方面

- (1) 生命源泉的枯竭——水污染
- (2) 生命要素的损害——大气污染
- (3) 人类母亲的呼救——土壤污染
- (4) 健康大敌的侵犯——食品污染
- (5) 生活空间的损失——垃圾污染
- (6) 天上的污染——太空垃圾
- (7) 人类益友在减少——生物资源衰竭
- (8) 地球环境在变暖——温室效应
- (9) 地球保护伞变薄——臭氧层破坏
- (10) 大气降水在变酸——酸雨
- (11) 不毛之地在扩展——土地沙漠化
- (12) 毁林的恶果——洪旱灾害
- (13) 慢性中毒在持续——农药污染
- (14) 隐形的杀手——噪声污染
- (15) 致癌的射线——放射性污染

1972年罗马俱乐部的报告震撼了全球，他们指出全球人口的急剧膨胀如此增长下去 人类将“像公共汽车一样拥挤”这样的结论引发了世人的震惊，人们开始关注和讨论生态平衡，开始行动起来

来保护环境。如今，困扰全球的四大显性危机，已成为世界舆论的焦点，四者的恶性循环为旧工业生产方式掘下了坟墓，在人类发展史上敲响了警钟。而人类对环境破坏的十五个方面，更是让人触目惊心。

另外，我们不得不正视全人类的当前利益和长远利益。人类有权力追求经济增长，追求生活富裕，要求社会进步。同样，我们的子孙后代也要生活在地球上，也需要消费各种自然资源，也需要生态环境的平衡和生物的多样性，为了子孙后代的生存发展和长远利益 我们必须保护环境 爱惜地球 减少资源的浪费 杜绝生态的恶化，踏踏实实地行动起来，与自然和谐相处。

因此，重新理解人在自然中的位置，重新界定人与自然的关系 保护人类惟一的家园 善待其他生物物种 与自然和谐相处 使得人类在不损害子孙后代利益的基础上，寻求满足我们当代人需要的发展途径，已成为整个人类的当务之急。

二、人与自然协调发展的可能性和途径

为了更好地理解人与自然协调发展的可能性，我们先来讨论“全球性问题”的根源 找出其症结之所在 再来看一看人类能否解决这些问题。

全球性问题的出现，是从近代科技革命开始的，工业化生产方式加剧了它的严重化程度，但是，这并不意味着全球问题的出现是科技革命和工业化的必然后果。我们看到，作为困扰全球的四大显性危机之首的人口爆炸，就和科技与工业化关系不大，人口增长最快、人口问题最严重的地区，恰恰是那些科技水平落后、工业化程度欠佳的地区，尤其是非洲、亚洲地区。科学技术本身既包含了恶化环境的可能，又提供了治理污染的金钱和手段。所以，不能把全球性问题完全归咎于科技和工业化。问题的根源不在人类之外，恰在于人类本身，人类生存危机来源于人类自身行为。全球性

问题的出现 是人类认识的、实践的、文化的、制度的诸多因素共同作用的结果。总的说来，有以下几个方面的原因：

第一，人口过多。人口过多，繁衍过快，不仅是全球性问题之一，更是引发全球性问题的根源。公元前 8 000 年 人类尚处在原始采集与狩猎文明阶段，这时候全球人口估计不超过 500 万人。而 1999 年 10 月 全球人口激增到 60 亿。在这不到 1 万年的时间内，人口增速是快慢不一的。17 世纪中叶之前，人口增加一倍约需 1650 年；1650~1830 年 约需 200 年；1830~1930 年约需 100 年；1930~1976 年约为 46 年。再来比较一下人口增加 10 亿所需时间的变化。1830 年以前，人口要增加 10 亿，估计需要 8 000 多年；1830~1930 年 只需要 100 年；1930~1960 年只需 30 年 而 1960 年到 1976 年间降为 16 年增加 10 亿人口。现在则更降为 12 年。如此巨大的人口压力，如此快速的人口增长，是引发其他全球性问题的首要根源。正是因为人口过多，需求猛增，引发了对自然资源的过度消费，造成了资源短缺、环境污染，带来了生态状况的恶化。正是人口的过度膨胀，导致对有限资源的争抢和掠夺，威胁到世界和平。尽管乐观主义者宣称，即使全球人口增加到 300 亿也不成问题，但很少有人希望变成事实。人类是地球上最聪慧的生物，创造了高度发达的物质文明和灿烂的文化，人类应当也能够控制自身的生产和再生产，把人口增速降下来，使全球人口总量保持一个合理的水平。

第二，增长模式不合理。17 世纪以来，人们把经济增长等同于社会进步，把经济增长等同于人类发展，过于看重经济增长，单纯强调经济增长。而经济增长的基本模式是工业化、城市化以及由此带来的收入水平的快速提高和消费结构的极大改变。正是工业化，才使大规模的资源开采变为必要的，才使大规模的资源开采成为现实。在采集和狩猎社会，各种矿产资源早已存在，但人们并没有去开采它。城市化是工业化的伴生物，城市化水平的迅速提

高，带给人们一种全新的生活方式和消费方式，在多的不可胜数、令人眼花缭乱的消费品面前，人们的消费欲望空前膨胀。有资料显示，人均国民生产总值与人均能源消耗成正比，人均国民生产总值不到 100 美元时 人均能耗 1 500 公斤标准煤以下；人均国民生产总值达 4 000 美元时 人均能耗在 10 000 公斤标准煤以上。同时，人类能源消费结构极不合理，其中，石油占 39.2%、煤炭占 29.0%、天然气占 22.0%、核电占 7.0%、水电占 2.4%、地热发电占 0.4%。燃烧煤炭和石油，尤其是煤炭，带来了严重的大气污染。工厂废气、汽车尾气和居民用煤使大气层中的有害物质急剧增高，威胁到人类和其他生物的生存和健康。当人们为汽车的普及、飞机的增多、现代交通的发达而高兴的时候，却不得不忍受空气质量下降的代价；当人们为物品的繁多、生活水平的提高而欢呼的时候，资源枯竭的钟声一遍又一遍地敲响；当人们为人口之树枝繁叶茂而自得的时候，动植物物种却在急剧减少，生物的多样性受到挑战。

第三，盲目滥用和误用科技成果。我们知道，科学技术是一把双刃剑，既能造福后代，也会遗患无穷。科技革命风起云涌，一浪高过一浪，既给人带来了福音，也给人带来了各种副作用。新科技用汽车、飞机代替了牛车马车，却也带来了石油消耗和尾气污染；核技术的发展带来了新型能源，却也带来了核泄漏和核威胁；人类开荒种地、围湖造田，增加了耕地面积，却也降低了地球的净初级生产能力，引发了水土流失、荒漠化和生态破坏；现代医疗技术延长了人类寿命，提高了人类生存质量，却也带来了人口增长模式的变化，由高出生高死亡低增长，变为高出生低死亡高增长，造成人口爆炸。当然，这绝不是把当今世界上出现的全球性问题归罪于科学技术 而只是说 科学技术是一把双刃剑 既有其有利方面 又有其不利方面；既有巨大的进步作用，又有各种副作用。从前绝大多数人只认识到其进步的、有利的方面，而没有看到它的副作用和

不利的方面。因为当科学技术和生产力发展水平较低时，它对社会的副作用和对人类的消极影响也相对较低，人们不容易认识到它。而当科学技术和生产力的发展水平较高时，它的各种副作用就明显地显现出来了，人们也开始谈论和关注它了。在科技革命不断推进的今天，人类应该更慎重地对待每一项新科技，不应该只看到应用该科技所带来的经济利益，也应该考虑到社会后果、生态后果，从而自觉地兴利除弊，停止对各种形式科技成果的滥用，开辟科学应用的新渠道、新途径，这样就会在相当大的程度上限制其副作用和消极后果。

第四，观念上的失误。人是有意识能力的生物，人类的一切活动都是在人类意识的指导下进行的。在指导思想，我们经常犯的错误之一是急功近利，只顾眼前利益，不顾长远利益，只顾经济效益，不顾社会效益。人们不考虑自然资源的总量是有限的，不考虑生态环境的破坏是难以逆转的，不考虑子孙后代还要生活于地球之上，而一味地盲目开发自然，扩大生产。我们常犯的错误之二是，过分强调人与自然的区别，忽视人对自然的受动性，无限夸大人的主动性，盲目发挥人的能动性。人类把自己凌驾于自然之上，俨然以自然界的主人自居，以自然界的统治者自居。这样的思想在近代科技革命后成了公众的普遍观念。近几个世纪以来，科学技术和生产力的发展以及由此体现的人对自然界的胜利，使人类片面地认为人是自然界的征服者、统治者，人们像“征服者统治异民族”那样统治自然界，完全没有意识到自己是自然界的一部分，是自然之子，没有意识到人在很大程度上依附于自然，更没有意识到人应当爱护自然，保护自然。

人口的膨胀，自然资源的消耗，环境的污染，生态系统的恶化，迫使人们重新审视人在自然中的位置，重新审视人与自然的关系，重新考虑如何与自然相处，以求得减轻环境污染，降低资源消耗，再现生态平衡，努力实现人与自然的协调发展。那么，怎样才能做

到解决现有的全球性问题，实现人与自然的协调发展呢？存在哪些途径，可以采取哪些措施呢？

第一，改变观念，摆正人在自然中的位置，理性地对待自然。由于人类的特殊禀赋和在自然中的特殊地位，人与自然的和谐相处乃至协同进化，主要取决于人类行为。人类要从“人类中心主义”中走出来，摆正自己在自然中的位置，正确地对待自然，适应自然界为人类提供的现实条件，充分尊重自然规律。控制人类自身的生产性活动，多方了解自己的行为可能给自然带来的负面影响，将之降低到最小程度，使之不影响子孙后代的生存发展。经过工业化、现代化和城市化浪潮之后，许多国家都增加了理性思考，开始由单纯追求经济增长，转向寻求经济、社会、环境、技术和人的全面发展。人们深切地认识到：人类在利用自然资源过程中，离不开对地球资源的保护和再生培养；人类在改变自然环境的过程中，离不开对自然环境的维护与整修；人类在享用各种生物体时，离不开对生态生物体的保护与养育。人类固然是地球物质资源的享用者，但同时也是地球物质资源的一部分。人类必须放弃与自然的对立转而寻求人与自然的和谐发展。倡导可持续发展，倡导发展的协调性、综合性，是不可阻挡的时代潮流。这也正在成为世界各国制定发展战略、制定国家政策的科学依据。

第二，在全球范围内，控制人口数量，提高人口质量。在困扰全球的几个问题中，人口问题是一个首要问题，是引起其他问题的根源。只有首先解决人口问题，才能减轻压力，处理和解决好其他问题。我们必须提高全球妇女的受教育水平，这是降低生育率的一个直接动因。世界上处于由农业文明向工业文明转换过程中的二个国家或地区，必须加快其工业化、现代化的历程，正是在这一中间过渡状态，才出现人口的急剧扩张。为了降低人口增速，有必要加大宣传力度，让每一个人都了解人口现状和人口压力，了解人口爆炸的危险性，在国家或国际的范围内，采取切实可行的措施

(如计划生育)降低人口增长率 同时提高人口质量。

第三 改变“高消费畸形增长”、“先污染后治理”这样一种不合理的经济和社会增长模式。发达国家走过了一条“高消费畸形增长”、“先污染后治理”的路子 而这正在成为广大发展中国家效仿的榜样。人们必须变单纯追求经济增长为综合考虑经济利益、社会利益和生态利益，而且从指导思想上，人类似乎更应该把后两者放在优先考虑的地位。改革不合理的社会制度，改变为少数人利益服务的国家政策 改变“富足社会”的价值观念 改变现有生活方式中的某些方面，变高消费为合理消费，变资源浪费为资源保护，变污染环境为治理环境，变苛待自然为善待自然。还要树立理性分配意识，切勿在生态赤字状况下逆向发展，以免加剧全球危机。最后还要改变全球资源消费中的不合理现象，例如，美国占世界人口的 1/25，却耗用了世界能源总量的 1/3 多，如果全球人口都按美国人的消费标准 那么 至少还需十个地球。所以 改变“高消费畸形增长”的增长模式 改变“先污染后治理”的行为方式就成为当务之急。

第四，依靠科学技术革命。滥用和误用科技成果，是引发全球性危机的因素之一，但是，要消除全球性危机，还必须借助于科学技术的进一步发展。现在有人宣扬技术悲观主义，有人鼓吹反技术主义，但是，这些主义都不能提供解决现阶段困境的现实途径。控制尾气污染，要靠清洁的新能源和尾气净化新技术，而不是消灭汽车，回归马车时代。要解决能源枯竭问题，必须依靠节能技术的发展，同时还要借助于高新科技开发新能源，寻找替代能源。目前来看，最有前景的新能源当数核能、氢能、太阳能……或许人们还能发现其他更清洁、更高效的新能源。上个世纪的英国，主要能源煤炭面临短缺，有人曾预言英国工业将因此而裹足不前。但是随着新型能源——石油的开采和大规模应用，动力不足的问题得到了根本解决。由此可见，科学技术是解决现有全球性问题，缓解全

球危机，推动社会进步的关键因素。

第五 开展国家间的相互合作 加强全球性的监督控制。无论四大困境、五大问题 还是十五项污染 这些问题都是全球性问题，解决这些问题也需要世界各国相互协作、共同努力，一国的空气污染不只污染该国的天空，一个地区的洪水泛滥可能归因于上游各国的滥砍滥伐，而全球气候的变化，如厄尔尼诺和拉尼娜，则毫不例外地影响了世界上所有的国家。因此，发展国际合作，强化相关国际组织对控制人口、保护环境、恢复生态平衡的宣传和影响，不仅是各国间的共同需要，更是各国间共同的责任。

三、可持续发展的理论与实践

可持续发展涉及“发展”和“可持续”两个概念，究竟什么是发展呢？经济学家一般把它定义为“经济增长”，社会学家一般把它定义为“社会进步”。其实，增长和进步都不是真正意义上的发展。发展是一个综合概念，既包括经济增长，也包括社会进步，以及由此带来的人民生活水平的改善，在生态意识高涨的今天，人们还把人与自然的和谐发展包括在这一概念之中。可持续概念起源于人们对于森林、渔业等可更新资源利用的重新认识，尤其是森林资源利用的认识在这一概念的形成中起了很大作用。可持续概念包括三个层面含义：持续什么、对谁和多久。可以把它表述为：在对人类有意义的时间和空间尺度上，环境资源对人类需求的可承受能力或可承载能力。

可持续发展是一种新的关于发展的战略思想。它是在“只有一个地球”的共识下，为了避免环境灾难、立足于子孙后代利益上的新发展观。1987年，联合国世界环境与发展委员会在其报告中把可持续发展定义为：“既满足当代人的需要，又不对后代人满足其需求能力构成危害的发展。”由此可见，可持续发展有着丰富的内涵，包括着环境和人类生活质量在内的多目标进步，既要满足人

类目前的需要和追求，又不对未来的需要和追求造成损害，而且还是一个动态的过程。总的说来，我们认为可持续发展就是：地区、国家乃至全球的人口、经济、社会发展与资源、环境、生态处于协调状态的发展。

可持续发展的思想经历了长时间的酝酿和形成过程，它既是人类实践和科学技术高度发展的产物，同时也是以往沉重代价换来的认识成果。人类曾经把自己与自然对立起来，曾经主宰地球，而且还为此而自豪。正是大自然的严厉惩罚才使人认识到，我们正在危害到人类赖以生存的自然根基。人类不得不面对现实，在这摇晃的自然根基上寻找稳定生存的出路。1987年，世界环境与发展委员会指出：可持续发展是解决人类所面临的环境与发展问题的根本原则。1990年，英国皇家学会专门组织讨论环境与发展问题。1991年在北京召开了“发展中国家环境与发展部长级会议”。1992年，在巴西的里约热内卢召开了国际“环境与发展会议”，183个国家和70个国际组织的代表出席了会议，可持续发展是此次大会的主题。大会通过了《里约宣言》、《二十一世纪议程》、《关于森林问题的原则声明》等一系列文件，签署了《气候变化框架公约》、《生物多样性公约》提出了“人类要生存 地球要拯救 环境与发展必须协调”的响亮口号。

在1997年6月联合国第19次特别会议上，代表们综合审议了世界环境和发展问题，认为里约环发大会以来，可持续发展观念已深入人心，国际立法稳步发展，但全球环境日益恶化的趋势远未扭转。诸如气候变暖、臭氧空洞、酸雨、森林植被破坏、耕地退化、荒漠化、生物多样性日趋减少以及洁净饮用水缺乏等问题仍然严重威胁人类的生存与发展。作为世界人口第一大国的中国，环境保护和生态保护的壓力也是最大的。中国每年水土流失量达50亿吨，占世界流失量的1/5，土地沙漠化的速度加剧，每年以2000平方公里的速度推进，沙化面积已达153万平方公里，占国土总面积

的 15.9% 大量泥沙流入江河湖泊 使其蓄水抗洪能力减弱 经常发生洪涝灾害；污水排放控制不严，污水净化技术落后，水体污染严重，水生物种急剧减少；水资源短缺，人均淡水拥有量仅为世界人均值的 1/5，水荒威胁着中国。大部分中国城市噪声污染处于中等水平，垃圾围城现象到处可见，白色污染严重。在 1998 年公布的世界十大污染城市中，中国就占了 7 个 这些污染严重的城市分别是 太原、米兰、北京、乌鲁木齐、墨西哥城、兰州、重庆、济南、石家庄、德黑兰。总的说来，中国的环境状况可以概括为：总体恶化 局部改善 治理不及破坏 生态赤字扩大。

中国的自然资源总量大，但人均资源占有量少，资源的时空分布与生产力分布不匹配，质量差异悬殊。中国的人均土地面积不足 12 亩 占世界平均水平的 1/3；耕地只占国土总面积的 10% 左右 人均 1.28 亩，只占世界人均数的 1/4；土地质量不断下降，现有耕地中 59% 缺磷，23% 缺钾，14% 钾、磷均缺，26% 耕层浅，12% 土壤板结，70% 左右为中低产田 中国淡水资源居世界第六位 但人均量只占世界平均水平的 28% 人均森林面积仅占 1/6 人均草地面积为 1/3，矿产资源潜在价值的人均值仅为世界人均值的 1/2 中国的金属矿产铁、铜、铅、锌的生产能力开始逐年下降 估计 21 世纪前期将出现全面短缺的局面。更重要的是，中国的资源开发破坏严重 利用浪费惊人。中国的钢铁、木材、水泥等 12 种主要原材料的物耗比发达国家高出 5~10 倍 每生产 100 美元的国内生产总值消耗的能源折合 187 公斤石油 而生产等值产品 日本能耗为石油 13 公斤 德国为 18 公斤 美国为 35 公斤 甚至一些发展中国家也低于中国 委内瑞拉为 93 公斤 埃及为 105 公斤 印度为 132 公斤。所以，协调人与自然的关系，实施可持续发展战略是中国的当务之急。而要实施可持续发展战略，控制人口数量、提高人口素质就成为中国可持续发展的基本前提；节约资源，合理有效地利用资源就成为中国可持续发展的重要保证；保护环境、恢复和保

持生态平衡就成为中国可持续发展的关键因素。

四、协调人与自然关系的原则

可持续发展是一个内容丰富的发展概念，主要是指人类必须在人口、经济、社会发展过程中与资源、环境、生态保持协调。而人类在目前的现实条件下，既要避免历史错误的重演，又要解决好面临的各种问题，使自然资源在总体上保持永续利用，生态系统保持良性循环。真正实现人与自然、社会与环境的协调发展，一般认为必须遵守以下原则：

1. 可持续性原则

可持续性原则是指人类所追求的人口、经济、社会发展必须限定在自然和生态系统可以支持的范围之内，发展不能靠耗尽资源和牺牲环境为代价，不应危害支持地球生命长期存在的生态系统。当这一系统人就身处其中受到某种干扰时它能够加以恢复并保持其原有的生命力和出产能力，能够承载其各个环节、各个层次的物质要素，不断地存在并演化下去。人类主要是通过两条途径来影响自然的，一是向自然索取各种资源，一是向环境排放各种废物。要使人与自然真正协调起来实现可持续发展必须做到：

(1)对各种不可再生资源，应尽力降低其消耗速度，通过循环利用提高使用效率，多方寻求替代资源，使不可再生资源的耗竭速度不超过替代资源的开发速度，使不可再生资源得以持续利用。

(2)对各种可再生资源，应当把人类对它的利用程度控制在它的最大持续收获量之内，保证自然循环的顺利完成，保障资源恢复功能的正常发挥，确保可再生资源的持续利用。

(3)从简单处理污染物转向对环境的综合治理，从先污染后治理转向预防和治理相结合，尽可能地减少污染物的产生，避免对环境的破坏，通过资源重复利用、废弃物再资源化，确保环境状况的持续好转。

(4) 爱护动物，保护植物，扩大现有自然保护区，珍爱热带雨林，借助高科技手段培育新物种，人工繁衍濒于灭绝的生物物种，确保生物多样化，确保人工生态系统的多样性。

(5) 寻求自然资源、人力资源和社会资本的合理与有效转化，形成相互支撑和弥补的体系，共同促进人类社会的持续繁荣。

人类活动不可避免地要影响环境、改变自然，因此我们应当自觉控制人类行为，自觉弥补对自然的破坏，使加入人类活动的自然系统保持稳定，重回平衡状态。自然系统要保持自身的稳定和平衡，而人类经济活动要实现增长和繁荣。我们要使二者相互协调，避免产生大的矛盾，使人类可以不断地、持续地发展下去。

2. 和谐性原则

首先，发展是人类永恒的主题，正如联合国世界环境和发展委员会在《我们共同的未来》报告中所指出的：“从广义上说可持续发展的战略就是要促进人类之间及人类与环境之间的和谐。”人类在安排自己的活动、改善自己的生活的同时，不能不考虑、不能不关心资源状况和环境状况，不能不让自身所在的自然生态系统保持稳定和平衡。如果人类自觉地按“和谐性原则”行事，那么，人与自然就能够保持互惠共生的关系，人类也才能够可持续发展。

其次，发展是一个多目标体系，通过发展，人们要实现经济增长、收入提高、人均寿命延长、生命质量提高、科技教育发达、享受良好环境等等，我们必须协调好各目标间的关系，而不能单纯追求某一目标，更不能让它妨碍和损害其他目标，例如不能仅仅为了经济增长而损害环境。要协调和处理目标间的关系，就必须从整体框架的角度，把各目标置于其下，理顺它们之间的关系，寻求动态的平衡，达到整体的协调。

3. 公平性原则

公平性原则是指每个人，不论其国别和种族，也不论其世代，都应享有平等的发展权利，都应享受平等的发展利益。公平原则

体现的是自身的发展不应以损害其他人为代价，也不应影响到后代的生存发展。这里的公平具有两层意思：一是指同时代人之间的横向公平性，一是指世代之间的纵向公平性。目前，占世界人口 1/5 的发达国家或高收入国家消耗了世界资源总量的 2/3，而另 4/5 的人口只能消耗世界资源的 1/3，两者的人均资源消耗比是 8:1。可以说，发达国家的繁荣和发展是建立在对世界资源的大规模消耗基础上的，而后发展的其他国家没有如此充分的资源为依托，他们不得不面对资源短缺的现实，不得不花更多的资金、花更大的代价用于解决资源短缺问题。世代间的公平就是要保障子孙后代的利益，保证他们的长久发展。人类应当结束危及后人发展的不良行为。地球只有一个，我们没有耗尽资源破坏生态的权利，只有保护资源爱护生态的义务。

4. 合作性原则

解决全球性问题需要全球性合作，不论是哪一个层次的利益主体，个人、企业、地区、国家，其行为方式都不能影响全球和全人类的整体利益。只有保障了全球利益和全人类利益，前者的利益才能长久地得以保障。我们现在有了地球村的概念，在小小的地球上，所有的人都应当为实现可持续发展而负责。不同国家要加强合作，国际上的环境与发展、人口与发展等组织要制定统一的目标、共同的准则，只有在共同目标和共同行动的基础上，全球共有的资源才能得到很好的管理，各国才能在全球性的可持续发展中受益。所以，建立新的公平的全球伙伴关系，推进国际社会的广泛沟通和广泛合作，确保资源的共有共享，确保环境和生态的恢复和平衡，是协调人与自然关系、实现可持续发展的关键。

第七章 人工自然图景

自从人类产生以后，自然的演化就因不可避免地渗入了人的因素而进入了一个全新的时代。作为自然界进化产物的人类，又反过来作用于自然，影响着自然，改变着自然。人工自然就是人类作用于天然自然的产物和结果，并与天然自然一起构成了我们所面对的自然界。

第一节 人工自然及其特点

一、什么是人工自然

按是否为人类实践所及、人类实践是否对之加以改造，我们把自然分为天然自然和人工自然。

天然自然是指人类尚未认识到的那部分自然和人类观测所及但实践手段所未及的那部分自然。天然自然是由各种自然要素构成的自然综合体，它既包括各种自然资源，也包括各种自然要素相互作用所构成的生态系统和功能藕合系统。人类尚未认识到的自然包括遥远的外星系、量子世界的其他微观粒子、未知的新病毒、新细菌等等，正是因为它们还不为人类所知，还没有进入人类的视

野范围，是人类尚未涉足其间的纯自然，或称之为第一自然、天然自然。它的另一部分是人类观测所及但还没有真正对之加以影响、加以作用的那部分自然 例如深海世界的生物、深海世界的资源、南极的矿产、外太空物质等。我们虽已把它纳入自己的认识范围，但还没有对之加以开发、加以改造，基本上还属于纯自然、天然自然。天然自然处于纯粹的自然状态，没有被人类染指和干预，它的变化体现着自然界固有的节律，它的发展遵循着自然界固有的规律，自然界的草木枯荣、花开花谢、日出日落、季节更替 无不如此。

人工自然是指为人类实践所及从而被变革了的那部分自然界，主要包括：人工自然界，即受到人类实践活动直接影响的那部分自然 包括人工影响的自然、人工控制的自然、人工培育的自然等 如大面积农田、水果种植园、蔬菜大棚、人工运河等。②人工自然物 即人类利用自然界的材料所创造的人工物 如机器、铁路、工厂、管道、电报电话系统、信息网络系统等等。

人工自然既是一个社会范畴，也是一个自然范畴，同时还是一个历史范畴。作为一个社会范畴，人工自然是被人类加工改造过的自然，是社会化的自然，是人类社会劳动和社会实践的产物；作为自然概念，人工自然是对象化的自然，是人类所面对的整个自然界的一部分，是被人类活动所变革的那一部分自然；作为历史概念，人工自然随着人类的诞生而产生，随着人类的发展而扩展，体现出自身是一个不断深化、不断拓展的过程。

人工自然是人类在自然条件的基础上，对自然施加影响和控制的结果，是由人和自然所构成的调控系统。随着人类科技手段的发展，人工自然的范围不断拓展，从人类技术史中，我们就可以清楚地看到其发展脉络和拓展历程。人工自然是人类利用天然自然，经过劳动过程创造出来的物质系统，体现了人对自然的作用和改造，而正是这种有目的的改造，使人工自然拥有不同于天然自然的结构和功能，经常表现出比天然自然更高的变化率。例如，全世

界每年搬动岩石和运送土壤的总量达到 1 360 亿吨，人口压力较大从而人类活动较为频繁的中国平均每年搬运土石方 381.7 亿吨，占全世界总量的 28.1%。中国平均每人每年搬运的土石方是全世界平均每人每年搬运的土石方的 1.4 倍。而由人类活动引起地球表面物质运移的数量约等于自然状态下的 17 倍。

人工自然作为人类变革自然的实践活动的直接体现，它具有以下几个方面的意义：

第一、人工自然的状况，是人类生产力水平和社会文明发展程度的主要标志。例如，上海市的交通网络密度居全国第一位，达到每平方公里 0.98 公里，其相应的区域开发度在全国也居于首位，获得 100 分。其次是北京市，交通网络密度居全国第二位，达到每平方公里 0.80 公里，相应的北京市的区域开发度也很高，位列全国第二，达到 80.13 分。与之相反，有些地区的交通网络密度每平方公里还不到 0.1 公里，其区域开发度得分也相应地比较低。我们知道，越是在人类生活的早期，人工自然界的范围越狭小，人工自然物的种类越贫乏，它所体现的人对自然的征服程度就越低。而随着时间的推移，人工自然所覆盖的范围日益扩大，人工自然物的种类日益增多，它所体现的人对自然的征服程度日益提高。近代科技和产业革命，带来了生产力水平的巨大提高，带来了物质生活的极大繁荣，人工自然界的范围在人类进军大自然的号角声中，在不间断的科学实验和物质生产活动冲击之下，不断扩大，不断拓展。形形色色的人工自然物已经充斥了社会生活的每个角落，而新一代的人工制品还在源源不断地从流水线上涌出，继续涌入社会生活。人工自然发展水平和状况如何，标志着人类相对于自然的独立和解放程度，标志着社会生产力的发展水平，它对人类的生存发展有着举足轻重的影响。

第二、人工自然的必然存在和不断发展是引发人与自然矛盾的根源。正是在人工自然的不断发展过程中，人类越来越多地干

干预自然、改造自然，越来越快地把自己从普通生物的位置上提升起来，凌驾于自然之上，成了自然界的掠夺者和统治者。然而，随着近代科技革命和工业革命的发端，人对自然的影响和干预逐渐超出了自然界所能承受的范围，人类排放的各种废弃物，也大大超出了自然界的自净能力。土地的荒漠化和退化、草场的过牧和沙化、湿地的减少和消失、大气污染、气候异常、臭氧层空洞等等纷纷相伴而来，破坏了自然界的生态平衡，降低了自然界的净出产能力，影响了人类的生存质量，影响了人类的长远发展，导致了困扰人类的全球性问题的出现，使人和自然的关系从基本和谐走向严重的冲突和对立。例如，在中国封建社会历代伐薪、毁林、屯垦等人为作用下，截止到中华人民共和国成立时，历史遗留的生态债务累计有：15亿亩退化草原，6万平方公里人为因素形成的沙漠，100万平方公里的水土流失面积。解放后，在不断加大的人口压力下，在沙漠化半沙漠化地区继续游牧，在干旱地区开垦荒山，使生态环境进一步恶化。据中科院沙漠研究所的研究，中国北方沙漠化的成因中，过度砍伐占了31.8%，过度放牧占了28.3%，过度农垦占了25.4%。

第三、人工自然作为人和自然所构成的调控系统，理所当然地成了调节人和自然关系的重要手段。例如，为了保护濒临灭绝的稀有物种，世界各国政府纷纷划出特定的区域，在生态环境较为优越的地区建立大型生态园区、野生动物保护区或森林公园，保护了生物物种的多样性。在中国较为发达的农村地区，为了减少耕地面积的占用，改传统的住房为多层楼房，为了保护植被防止水土流失，改砍伐灌木为植树造林，改燃烧作物秸秆为使用沼气，最终出现了山清水秀、林密果实、生态优美的景象。在环保工作做得比较认真的德国，二氧化碳排放量已经大大降低，与20世纪60年代中前期相比，德国的二氧化碳排放量降低了15%，只占世界目前排放总量的4%。与六七十年代相比，德国的生态环境已经大为

改善。日本经过上下一致共同努力 在从 1970 年到 1997 年的 27 年里 经济增长了 250% , 而硫氧化物、氮氧化物的排放量却分别下降了 92% 和 41% , 生态环境大为改观。事实证明,通过进一步扩大具有环保、节能等效果的人类活动,就可以消除人类给自然界造成的创伤,保护生态环境,使人与自然的的关系处于协调状态。

二、人工自然的主要特点

人工自然有着与天然自然不同的特点和发展规律。一般认为,人工自然的特点有以下几个方面:

1. 改造过的物质性

人工自然不是天然自然,不是完全外在于人、不依赖于人的客观物质世界。天然自然能够独立于人类、在人类之外自在地存在,而人工自然却是人类加工改造过的自然或者是人类制造出来的产物。

人工自然和天然自然一样具有物质性,这是因为:

首先,人工自然是由天然自然加工改造而来,其物质资料是天然自然所提供的,如果没有天然自然提供的丰富材料,没有天然自然作为基础,人们什么也制造不出来。

其次,它是人们利用自然资源、遵循自然规律、进行物质生产活动的产物和成果,不遵循自然界的物质规律,就没有人工自然的壮大和发展。

再次,不论是人工自然界还是人工自然物,其本身是以物化形式存在的,其最终结果都表现为一定的物质形态。

但是,人工自然的物质性是改造过的物质性。人工自然是人类通过有目的、有计划的生产而制造出来的,是人类智慧的结晶,是人类意志的表现,是人类能动性的体现。马克思说:“自然界没有创造出任何机器 没有制造出机车、铁路、电报、走锭、精纺机等。它们是人类劳动的产物。”的确,人工自然作为人类实践的产

物，它具有天然自然所没有的新特点、新属性，是人类为了自身需要而设计并制造出来的，是为了人类利益而创造出来的。它在本质上是人类理智的产物，是人类智慧的结晶，是物化了的知识力量。在一定程度上，我们甚至可以说，人工自然不过是人类本质、目的和力量的外在化，是人类主体能动性的体现。

2. 满足人类需要的功能性

天然自然也能满足人类的某种需要，但那是大自然无意识的造化，或是人类自觉不自觉地适应自然而进化的结果。人工自然本身就是人类意识的产物，是为了满足人类从生存繁殖到休闲娱乐等各种需要而生产出来、制造出来的，或者是为了满足这些需要而对自然做了加工和改造的结果。人工自然的功能和效用，既来自于它的物质性，也取决于人类的需要。人们把野马驯化，使之变为能为人类劳作的马匹；把野犬驯化，使它变为牧羊犬、看家犬、观赏犬；疏浚天然河道，使它变为可以行船的水路、可以灌溉的河流；修筑密如蛛网的公路系统、铁路系统和高速公路，使人员和物资能够快速地从一地运往另一地。无论人类使用的工具是木棒，还是铁犁、拖拉机，或者大型农用机械，我们看到在人类文明的发展过程中，越来越多的人工自然界被创造出来，越来越复杂的人工自然物被制造出来，以更好地进行生产，更大程度地满足人类需要。同时自然界在越来越大的程度上被人类所控制，为人类所改造，变成人化自然、人工自然、第二自然。

3. 对科学技术的高度依赖性

人类改造和征服自然的过程，也就是人类不断拓展人工自然界、不断制造人工自然物的过程，它与人类科技的发展程度息息相关。古代人类所能利用的元素不过 18 种，到 19 世纪末，已增加到 62 种，20 世纪 70 年代后，除了地壳中已知的所有 89 种元素外，人类共利用了元素周期表中的所有已知元素 108 种。在原始狩猎采集阶段，由于科学技术水平的极度低下，人们主要使用石制工具和

弓箭，以采集野生植物和捕捉动物为生。他们捕获的食物常常满足不了基本的需求，生活条件很恶劣，物质财富极度贫乏。而掌握了农耕技术以后，人们学会了种植，学会了灌溉，学会了建筑房屋并定居下来，人类的生活质量有了大幅度的提高，所能制造的产品增加很快，驾驭自然的力量日渐强大。随着近代科技革命的出现和产业革命的兴起，人类对自然资源的利用程度越来越大，人类控制自然的手段发生了质的改变，影响自然的方式也变得多种多样。下面以农耕技术的改进和提高为例，看一下人工自然对科学技术的高度依赖性。为了能够生存，古代人曾用削尖了的木棒在烧过的荒地上扎上眼，由紧跟其后的妇女或儿童撒下种子；传统农业的农夫用铁犁耕田，用水车浇水；现代农民大范围使用拖拉机耕作，使用收割机收割；而发达国家和地区的农业生产者则用大型农用机械耕耘、耙地、播种一次完成同时还撒下了松土剂和除草剂，农业生产效率空前提高。在农业生产使粮食产量大幅度提高的同时，工业生产使全世界的资源耗费大量增加，各类工业制成品不断涌现，物质财富迅速增加。总而言之，人类之所以能取得今天的成就，与科学技术的发展密不可分。正是科学技术的不断发展，才使得人工自然物极度丰富，充斥于人类生活的各个领域；正是科学技术的不断发展，才使人工自然界的范围越来越大，几乎囊括了整个地球范围，除了南极、深海等少数例外，地球几乎变成了一个大的人工自然界。

4. 人与自然关系的中介性

人工自然是介于人与天然自然之间，起中间联系作用、中介作用的环节；同时也是天然自然无限发展过程中的一个环节，是人类改变自身、发展自身的必要环节。

人工自然的基础是天然自然，人工自然的本质是人类加工过的自然，在这里，人工自然理所当然地成为人与自然关系的中介，成了介于人与自然之间的中间环节。它作为中介，仿佛一座桥梁，

把人与自然连接起来。一方面，通过人工自然的中介，人类改造无机世界 征服有机世界 使自然不断人化 不断被改造 不断在更大程度上满足人类需要。另一方面，通过人工自然的中介，人类自身的认识能力不断增强，人类自身的实践能力不断强化，人类在改造自然的同时不断地改造自身，发展自身。

人工自然作为中介可以使人与自然相互作用，相互转化，但是，人工自然的盲目扩大和无序扩张，也引发了人与自然关系的紧张，带来了人与自然的对立和矛盾。在纯粹的自然状态中，森林、沼泽、河湾地区的初级生产能力最高，平均每年每平方米净产量可达 2 000 克，但是 当人类在此开荒种地 把它转换成农田后，它的净生产量却下降为每年每平方米 650 克。在农田上用 DDT 作杀虫剂固然挽救了大量作物，但也毁灭了众多的野生物种；过量使用氮类化肥，虽然暂时提高了农业产量，却造成了土壤板结和土地贫瘠。

怎样才能缓解人与自然的矛盾呢？人们所能借助的还是人工自然。它是协调人与自然关系的必然选择，它为人类治理和消除各种负效应提供了物质手段。正是人工自然这个中介，自有人类以来，就不断地引发人与自然的矛盾，同时又不断地解决人与自然的矛盾，使人与自然的的关系既对立又统一，既斗争又和谐地不断调适 不断发展。

第二节 人工自然与天然自然的关系

人工自然与天然自然是既相互区别、相互对立，又相互连接、相互统一的关系；这种对立和统一是双向的、互动的，而不是单向的、链条似的。

首先，人工自然与天然自然是统一的，这种统一表现在三个方面：

第一，它们之间相互依赖并结为一个整体。它们都是大自然的组成部分，天然自然与人工自然合起来组成了我们所称的自然界。人工自然是在天然自然的基础上产生出来的，它脱胎于天然自然，与天然自然有着极为复杂的依赖关系。这两种自然形态交织在一起，汇集在一起，犹如水乳交融的整体，难解难分。如对于自然界中的一种生物巨蟒来说，它不必分清天然自然和人工自然，它在人迹罕至的大自然中生活，藏身于泥沼、森林之中，靠勒索并吞食大大小小的动物为生。而在新加坡的下水道中和垃圾场里，人们也经常发现巨蟒的身影。我们知道，城市的下水道和垃圾场里有丰富的废弃食物和多得数不清的老鼠，这为蟒类提供了与天然自然同样好甚至更好的食物来源和栖息之地，它移居现代城市就不足为奇了。天然自然和人工自然的区分是我们在理论研究时，为了方便和清晰而作出的划分，在现实的人类生活中，它们是彼此交融、相互结合，作为统一的整体而存在的。

第二，这种统一还表现在它们之间的相互作用和相互影响上。天然自然在人类产生之前早已存在，它构成了人工自然的基础并影响和制约着人工自然。人工自然伴随着人类的起源而产生，一直在不断扩大，作为一种现实存在和现实力量发生作用，并影响着它周围的天然自然。这种复杂的依赖关系和作用关系表现在如下三个方面：物质依赖，没有天然自然提供的物质基础，就不可能制造人工自然物，不可能出现人工自然界；能量依赖，人工自然依靠着天然自然给它提供和源源不断地输送能量，依靠着太阳、风能、地热、化石燃料等转化而来的能量，没有这源源不断的能量传输和交换，人工自然无法存在；信息依赖，各种形式的信息不断地在两种自然之间交互传递，二者不是彼此隔绝的，而是彼此联结，彼此交流。人工自然不仅仅受天然自然的影响和作用，它本身也作用着、影响着天然自然，近代工业革命以来人类对自然界的负面影响和破坏作用也是它的一种表现。

第三，人工自然与天然自然一样，遵循着不依赖于人的主观意志为转移的客观规律，进行着合乎自然规律的动态过程。西蒙曾指出：“我们称为人工物的那些东西并不脱离自然，它们并没有得到无视或违背自然法则的特许。”^①无论是物理法则还是化学法则、生物化学法则，人工自然都毫无例外地加以遵守，我们从自然研究中揭示出来的各种规律，也都适用于人工自然。因为人工自然其实是整个自然界的一部分，它本身也是以物化形态存在着的客观事物，其差别只不过在于天然自然是自然界中土生土长的一部分，人工自然是人类加工改造过的一部分。人类的实践活动改变的仅仅只是物质存在的形态，所以它们和自然界的客观事物一样，都要遵循自然界的客观规律。

其次，人工自然与天然自然是相互对立、相互矛盾的关系，这表现在以下几个方面：

第一，人工自然是由人类创造的，是为了人而创造的，它满足人类的需要，符合人类的目的。然而，它却不一定符合自然界运动的必然性，不一定与天然自然和谐相处。例如，有一些地区曾开展了大规模的植树造林运动，主要是种植杉树、红松等经济林，但是在树木成长过程中，却一再出现虫灾困扰，成片森林几乎毁于一旦。后来人们才认识到，自然生成的林地都是混生林，各种不同的林木相生相克 彼此助益 有利于林木生长 不容易引发病虫害 而人工栽培的单一林种，却很容易遭虫灾。再如，为了游览自然景观的方便，人们在自然风景区建立索道，高高矗立的铁架和悬空而过的缆车，却破坏了自然景观的和谐，破坏了那种独特的自然美，破坏了人们在跋山涉水中才能享受到的乐趣。所以，在黄山、泰山等名胜风景区建索道，都曾受到过强烈的反对，但为了经济利益，索道还是建成并投入运营。尤其是许多化昂贵代价建造出来的东

西蒙：《人工科学》，第7页，北京商务印书馆，1987年。

西，却与自然景观格格不入，人工添加的败笔时常可见。

第二，生产人工自然物、拓展人工自然界的过成，耗费了大量的自然资源和能量，致使在有些方面超过了自然界的承受限度，破坏了自然界亿万年间形成的物质循环的平衡状态。我们知道，地球表面的大气循环、水循环、碳循环、氧循环等都是在漫长的地质年代里建立起来的，人类进入工业化社会以后，向大自然排放出大量有毒物质，毒害了自然，污染了环境，也使空气质量、饮用水质量大幅下降，直接危及人类生存。工厂排放的污水导致水体生物大量死亡。另外，大量抽取地下水的结果，会使地面沉降，在水位下降到不可汲取地步的农业区，还会出现整个区域的荒漠化。由于人类对自然界物质平衡的破坏有很明显的滞后效应，总是需要一段时间才会显现出来，所以当人们认识到这种危害时，往往已经很晚了。例如中国陕西、宁夏、蒙古一带的沙漠，主要是明清时代造成的。尤其是清代，人口剧增，为了增加粮食生产而大量开垦草地，导致沙漠扩展。据记载，这段时间腾格里沙漠的边缘推进了30公里，而鄂尔多斯则退化为沙漠和荒漠草原。当人们认识到这种后果时往往灾害已经造成，难以挽回了。英国为了治理泰晤士河的污染，先后投资总计2亿英镑，才使这条著名河流重又变清，代价是十分昂贵的。

第三，人工自然与天然自然的对立还表现在前者的无序扩张、无限扩张及其对后者的进一步影响和威胁上。当我们预测未来的时候，全球形势不容乐观。目前全球人口已多达60多亿，人口的进一步增加不可避免。人们对自然的索取规模只能进一步扩大，人们对自然的改造只能进一步加强。从长远的眼光看，人工自然与天然自然的对立有进一步强化的趋势，这一点人们不能再视而不见了。美国学者伯纳特根据对全美国13个州、5万个观测点的数据资料，计算出具有密闭草木覆盖的土壤每年每公顷仅损失土壤0.85吨，可一旦被人们开垦为耕地后，这个数字一下子上升为

83.55 吨 增高了差不多 100 倍。为了养活日渐增加的人口，人类不得不使用越来越多的机器，而为了使越来越多的机器开动起来，就得开发越来越多的资源，结果是加剧了资源的枯竭速度，进一步破坏了环境。据统计，一个世纪以来，全球用水增加了 8 倍 其中农业用水增长了 7 倍 工业用水增长了 20 倍 城市生活用水增长了 12 倍。按现在的发展势头，每隔 30 年用水量就要翻一番。20 世纪 80 年代中期，全球用水量已近 35 000 亿立方米，平均年增用水量 800~900 亿立方米，全球性水资源危机已经充分显现出来，有些国家和地区已经迫在眉睫，影响到人类的基本生存。如果人口、资源、环境、生态这样一些全球性危机得不到有效控制和解决，人工自然与天然自然的对立将进一步加剧和恶化，那么，人类将为此付出更为沉痛的代价。

第三节 人工自然的基本要素

人工自然，不论是人工自然界还是人工自然物，都是一个非常庞大的系统。从整体上说，它们都是由几个方面的因素组成的整体。

首先，由于人工自然是人的创造物，它首先包括人的主体因素：人类的需要与目的、技术能力与知识等。

其次，由于人工自然是在天然自然基础上加工而来的产物，所以从物质基础上讲，它包括客体因素：自然界中的材料、能源和信息。

有了主体因素和客体因素，还必须有能够把二者相结合的力量和活动，即联结主客体的结合要素：人类实践。

其中，主体因素是不断变化发展的，尤其是人类的技术手段，不断取得进步。相比之下，客体因素是不依赖于人类而存在的，但是它是否进入人工自然或以怎样的方式组成人工自然，则要依靠

人类的主体因素。同样，劳动作为一般性的联结要素是不变的，总是起着联结主体因素和客体因素的作用，但劳动的性质和水平及组织程度则随着人类主体要素的变化而变化。

一、主体要素：人类的需要和目的、能力和知识

人类改造自然界、创造人工自然物的过程，不是一个动物性的、本能的过程，而是一个有意识、有目的、有计划的活动过程。在人类活动之前和整个活动过程中，目的性、计划性一直对人类活动起着支配和指导作用。这些预期的计划和目的，先以观念的形式存在于人的头脑之中，随后则支配着整个活动过程，最后以实物的形式表现在人工自然里。

在创造人工自然的过程中，“全是有意识的、经过思虑或凭激情活动的、追求某种目的的人；任何事情的发生都不是没有自觉的意图、没有预期的目的的。”^①这正是人类活动与动物活动的根本区别，这些预期的计划和目的，充分体现了人之所以为人的独特性，体现了人类超越于动物界的特性。

人工自然的历史就是人类有意识地通过自己有目的的劳动改造自然的历史，就是人类通过对对象性的活动进行创造的历史。通过有意识、有目的的人类活动，人类把自己的主观意图、主观设想外化到对象的世界中，使之变成客观的现实。这种现实不是自然作用的自发结果，不是天然形态的自然，而是注入人类技术目的的人工自然。

技术能力是人工自然主体因素的重要组成部分，它包括构思技术原理、进行技术设计、筹划工艺流程、实施具体操作、检验和修正技术设计等多方面的综合技术能力。

技术知识包括创造人工自然或实现某种技术目的所要运用的

^①《马克思恩格斯选集》第四卷，第 243 页，北京：人民出版社，1972 年。

原理和方法，以及具体的制造和操作方面的知识。无论是技术能力还是技术知识，都是人工自然的重要主体因素，都以人类活劳动的方式进入人工自然之中。

学术界认为，主体的技术目的、技术能力和技术知识从下面几个方面发挥作用，展现自己作为主体力量的能动作用：

1. 对自然物原有形状、性质、功能等进行加工和改造

不论是古代的手工艺，还是现代的加工工艺，都是对自然物质的形状、性质、功能等进行加工，予以改造，使之符合人类的多样化需求。例如澳洲土著用火焚烧灌木和草地，使之变成预备耕地，同时焚烧过程中产生的灰烬，可以肥沃土地。随后，他们就可以在这块土地上进行耕作了。可见，从事原始农业的澳洲土著就已经开始对自然的形状、面貌、功能等进行加工和改造了。随着人类生产力水平和科技手段的不断发展，人类改造和加工自然物的范围在不断拓展，程度在日益加深。

2. 对自然物质进行分离或重组

人们为了自己的目的，将自然系统中的某种物质开采或分离出来，然后予以加工改造，使之变成人工自然物。例如人类从陆地或沿海大陆架开采石油，将之加工分离成各种等级的油料，从汽油、柴油一直到铺马路用的柏油。这是人类分离自然物质的过程。反过来，人类又可以将自然系统中的要素进行化合或重组，使之变成能更有效地满足人类需要的新物质。如合成出化肥、高分子材料，生产出洗衣粉、化妆品等自然系统中并不存在的物质形态。

3. 对自然过程进行调节 使之加速、减缓或固定下来

本来，纯粹的自然过程有自己固有的变化速率，并按自身特有的节奏演变和发展。通过一定的技术手段，人类可以有意识地加速或延缓这些过程，例如农业中利用暖房技术培育和栽培早熟品种，同时又可以利用推迟花期等办法培育出晚熟品种。北方农村利用蔬菜大棚技术克服自然气候的限制，一年四季生产出新鲜果

疏。与此同时，人们又希望将某种对人类有益的自然过程固定下来 保持下来 使之成为连续的、不间断的过程 以更好地为人类服务。例如通过兴修水利工程，拦洪蓄水，就可以调节水资源的季节性差异 统一调度 合理分配 做到四季常流 旱涝保收。

4. 对自然过程进行逆向改造

任何自然过程都有其固有的运动方向，水从高处向低处流动，风从气压高的地区流向气压低的地区，在阳光和雨水的侵蚀下，岩石发生风化变成碎片等。人类利用科技知识，可以改变自然过程的原有运动方向。借助于水塔和扬水站，可以把水从低处送往高处、灌溉农田或供居民生活饮用；借助高温，可以把粘土烧制成器具或砖瓦，扭转了风化的自然过程。

从以上人类主体改造自然的各种方式和过程中，充分地体现了主体的需要与目的、技术能力和技术知识的重要地位和能动作用，没有以上各要素，天然自然就不会被加工改造，天然自然就不会被控制利用 就不会转化成为人化自然 就不会生产出人工自然。

二、客体要素：材料、能源和信息

材料，包括天然材料和人工材料，是人类一切创造性活动的物质基础。没有大自然给予的各种物质材料做基础，人类的基本生存是不可想象的。天然材料是极其丰富的，从植物资源、动物资源到微生物资源和无机环境中的各种矿产资源，随着人类活动的逐渐展开，人类所利用的天然材料，不论其广度和深度，都在不断提高。另一方面，从很早起，人们就学会了加工和制造各种人工材料，如将泥土加工晾晒成土坯、泥板，分别用作建房材料和书写材料。中国古代加工竹板然后编结好，用于书写。现在的各种人工材料已数不胜数 从纸张、玻璃、陶瓷、纤维、橡胶、金属到高分子材料、纳米材料，材料科学已成为一个重要的大学科群。目前世界上使用的传统材料达几十万种，每年以 5% 的比例增加；人工合成的

化合物有 800 万种 并且每年递增 25 万种。

能源也是人类活动须臾不可缺少的客体要素，从某种意义上讲，能源与材料并重，都是人类创造性活动的物质基础。整个人类生存的历史，就是人类不断开发和利用能源的历史。能源，包括一次能源和二次能源，一次能源是指太阳能、风力、水力、煤炭、石油等，二次能源是指水电、核电等在天然能源和材料的基础上加工转化出来的能源形式。在人类生活的早期，所利用的能源主要是风力、水力、太阳能，其设备简陋，利用效率较低。进入近代社会之后，人类经历了三次能源技术革命。第一次是大规模地开采和利用煤炭，大大提高了机器生产的效率和生产能力，整个资本主义经济突飞猛进。第二次能源革命是电力的使用和普及，借助于新能源，使生产实现了电气化，并使社会生活也随之发生了巨大变化。目前我们正在经历的是第三次能源技术革命，从过分依赖不可再生的石油资源，到大规模开发使用太阳能、地热、风能等可再生资源，从使用污染严重的煤炭资源到开发利用清洁高效的水力、核能等。另外，日本还在研究开发海浪资源，收集和利用海浪这一丰富的天然能源。

自从信息论问世以后，人们普遍认为信息是与材料、能源相并列的第三大要素。从本体论的角度说，信息是标志客观事物存在及其关系的属性；从认识论的角度说，信息指主体接收到的、可以消除对事物认识不确定性的新消息、新内容、新知识。一切人类活动都离不开来自客体的各种信息，尤其是创造性的人类活动，需要获取丰富而细致的各类信息，信息对人工自然的发展有极其重要的意义。从古到今，人类获取、保存、处理、传播信息的能力不断发展，从上古社会的口头传说、民间神话，到有文字记录的泥板书、甲骨文，再到纸张和活字印刷术，以及今天的电报、电话、电影、电视、广播、计算机、互联网。尤其是计算机的普及和互联网的迅速扩展，加上系统论、信息论、控制论在工程、经济、市政建设、媒体传播

业中的运用，促使人们在不同的领域、以不同的方式认识到信息在人工自然，特别是在自动化生产体系、广播电视等传媒系统和日常生活环境中不可或缺的重要作用。

信息作为人工自然的客体要素，与材料和能源因素相比较，有明显的不同之处。信息概念本身是外界客观事物作用于人类意识的结果，是主体人类去认识客观世界的结果，是人与外界事物相互交流的结果。信息来源于客观世界而又作用于主体人类，是沟通主观世界与客观世界的中介，是连接人与自然的桥梁，是人与自然不可分离的最好表征。

三、主体要素与客体要素的结合：人类实践

实践不是抽象的精神实体的观念活动，也不是孤立个体的生物性的本能活动，它是生活在一定社会关系中的人认识和改造自然的感性物质活动。

实践既是主体与客体之间关系得以形成和实现的现实基础，又是主体—客体结构中一种基本的功能关系；既揭示了人类认识发生的现实基础，又揭开了人类社会存在和发展的内在动力。迄今为止，人类认识和改造客观世界的一切活动，都是实践。

首先，我们从中介的必要性角度分析一下实践环节。

主体和客体是彼此对立的两极，两者处于不同的地位，具有不同的规定性和作用。主体一极是从事活动的人，具有能动性和主动性；客体一极是被认识和改造的对象，具有受动性、客观性。一个是认识者、改造者，另一个是被认识者、被改造者；一个是信息和能量的接收者、使用者，另一个是信息和能量的发送者、传输者。主体要素本身作为一极，只为人类所拥有，作为人类的目的、能力和知识，蓄势待发。客体要素本身作为另一极，在人类之外，作为自然的存在、关系及属性，广泛地存在于客观世界。但如果他们之间的关系仅限于此，相互对应却彼此分离，客观世界能够自在地存

在，能够不断地演化，而人类却无法生存，无法发展。从人类自身的角度看世界，人类置身于自然万物的重重包围之中，置身于客观世界的重重作用之下，面对着源源不断地作用于人的实物、能量和信息，人类若想在任何历史条件下生活，针对着不可或缺的物质材料和能量流、信息流 必须注入“ 人类劳动 ”这个中介环节 搭起“ 人类实践 ”这个中间阶梯 建立“ 劳动的、实践的感性活动 ”这个重要桥梁。只有这样，人类才能在严酷的自然条件下生存下来，才能不断地认识并改造自然界，把天然自然变为人工自然，把自在之物变成为我之物。由此看来 实践这一中介环节是必需的、不可缺少的。

其次，我们从实践本身的特点和功能角度分析一下实践环节。

主体和客体既相互对立，又相互作用，而且还相互转化。那么，这相互对立的两极是怎样相互联系？人类实践活动为什么能够承担起桥梁作用并进而实现它们之间的相互联结和相互转化呢？这就关系到实践活动的特点和功能。人类实践是现实的对象性的活动过程，具有主观能动性、直接现实性和社会历史性三个特点。实践活动的发起和进行者是主体人类，实践活动所指向的对象和被改造的客体则是外部客观世界。在实践的过程中，一方面，作为主体的人把自己当作一种特殊的现实力量运用起来，借助于一定的中介手段，同客体发生关系，把自己的活动加之于客观过程之中，把自己的力量加之于客观事物之上，人类主体作用于客体，改变着客体，使客观事物发生某种改变。另一方面，作为客体的客观事物也以自身的力量作用于人类，也以自己的方式影响着人类，制约着人类，使主体自身也发生某种改变。所以，实践是一种主观见之于客观的活动过程，是发生于主客体之间的现实的、感性的客观过程，是人类与自然之间实际的相互作用过程和实物、能量和信息的相互变换的过程，是产生人工自然界和创立人工自然物的实际物质过程。

总之，能够在相对应的两极之间架起桥梁、使之相互沟通、相

互作用的中介环节是人类劳动，不是“我思”或“我心”，而是人类实践。实践是决定主体与客体之间关系的基本方式，是把人类目的、技术、知识等主体要素和材料、能量、信息等客体要素相结合的基本力量和物质活动，是人工自然的关键要素之一。

第四节 人工自然的扩展

人类是地球上的智慧生物，是惟一超越了本能、社会性地组织起来进行物质生产活动的物种。借助于语言和文字，人类文明突飞猛进。其突出表现之一，就是人工自然伴随着科技进步，从质上不断跃进，从量上快速扩展，充分展示了人类文明发展的巨大成果。

一、历次技术革命下的人工自然

人工自然是人类影响和改造过的自然界或人工制造出来的自然物，它凝聚了人类的智慧、能力和知识。科学技术决定着人工自然，人工自然依赖着科学技术。可以说，有什么样的科学技术，就有什么样的人工自然。这表现在以下几个方面：第一，科学技术是人的认识转化为物质过程的起始点和出发点。古代技术出现在人类生活的早期，完全可以说，有了人类活动就有了人类技术了，而人工自然界和人工自然物是科学技术转化为物质过程的最终结果和归属。第二，科学技术是人类变革和改造自然的方式和手段，是人工自然得以创造的直接成因，为人工自然的建设和发展提供内在动力，促进或限制着人工自然的创造和发展。第三，科学技术是协调人工自然与天然自然关系的必经途径。科学和技术是紧密结合、交互推进的，它们对人工自然的建设发展发挥无可比拟的巨大影响，既是推动人工自然扩大的直接动力，又是推动人工自然扩大的根本动力。

与科学相比，技术和人工自然的发展有着更为密切和最为直

接的关系。随着人类科学技术的不断发展，人工自然界在不断扩大，人工自然物在不断增加。下面我们通过人类有史以来的历次技术革命，看一下人工自然的发展情况。

火的使用。在取火技术的推动下，人类学会用火取暖、照明、驱逐野兽、煮烤食物，同时更重要的是人们还用火烧制陶器、冶炼金属。在此基础上，人工自然物有了加工过的食物、简单的居所、陶瓷、石器、木器、青铜器、铁器等多种形式。

农业种植技术的出现。在有了金属工具以后，农业种植技术取得巨大成功，使人类进入粮食生产的新阶段。同时人们还发展了引种驯化的畜牧技术和筑路建房的建筑技术，于是人们由迁徙不定的游牧生活进入了安定的农业生活，创造了诸如农田、沟渠、玉米小麦等各种农副产品、粮仓、村庄、城堡、道路、集市、服饰、手工艺品等人工自然物。

以机械技术为起点，以动力技术为内容的革命。人们革新了纺织机，发明了蒸汽机，更新了能源系统，开始大规模应用电力作为动力，并在此基础上开始了由大规模的机械化生产向自动化生产的过渡，人类物质生产的效率空前提高，各种新产品层出不穷，带来了马克思高度称赞过的空前的物质繁荣。放眼望去，处处充斥着人工自然物，到处是被改造过的人工自然界。人们陷入人工自然的重重包围之中，沉浸在人工自然的汪洋大海之中。

以微电子、计算机为中心的控制技术革命，也有的人认为是以计算机、通信、网络技术为主体的信息技术革命。这场技术革命创造了充分放大人类智力的人工自然物，例如节能锅炉、双燃料汽车、太阳能电池板、旋转餐厅、无绳熨斗、可视电话、多媒体电脑、信息高速公路等等，使人类的生产、学习和生活几乎都智能化了，人工自然从此步入了新的时代。

在技术手段推动人工自然不断发展的同时，人工自然也以它所具有的物质力量驱动着技术手段的变革发展。动力技术革命以

来的技术发展无论从目的、方向，还是从规模途径上讲，都是由人工自然的状况和需要所决定的，都是由人工自然的状况和需要所牵引的。人工自然作为一种物质力量，只要有了技术上的需要，这种需要就会成为推动技术进步的根本动力，而技术进步，又会克服技术与人工自然的矛盾，创造出更为先进的人工自然来。二者交互作用 协同发展。

二、不同社会形态下的人工自然

迄今为止，人类经历了四种不同的社会形态，通常认为是：采集狩猎社会、农业社会、工业社会、信息社会。下面仅就四种不同社会形态中人类的主导学科、主要技术、产业结构、能源状况、利用的主要资源、主要的社会组织方式等方面加以比较，来看一下人工自然不断扩展的趋势：

首先看一下当时的主导学科：

采集狩猎社会：科学尚未产生，处于朦胧的前科学阶段。

农业社会 数学、力学、天文、历法、语言、哲学等。

工业社会 物理、化学、数学、天文、地质、生物、哲学、经济、法学、社会、考古等。

信息社会 数学、宇宙学、物理学、生物学、遗传学、化学、医学、系统科学群、非线性科学群等。

再看一下人类所掌握的主要技术：

采集狩猎社会 石器、弓箭、制陶、用火等。

农业社会 青铜器、铁器、牛耕、排水、制革、瓷器、手工纺织等。

工业社会 机械化的采矿、冶炼、修路、造船、飞机、汽车、纺织、制药等。

信息社会 微电子技术、通讯技术、生物技术、网络技术、航空航天技术、纳米技术、基因技术、绿色农业技术、海洋技术等等。

其次看一下人类产业活动的种类：

采集狩猎社会：采集、渔猎。

农业社会 农业、手工业、采集、渔猎。

工业社会 工业、商业、金融业、交通运输业、采掘业、农业等等。

信息社会：计算机行业、制造业、信息业、服务业、农业及教育、旅游、休闲等。

再次看一下能源：

采集狩猎社会：柴薪。

农业社会 水力、风力。

工业社会 煤炭、石油、电力、风力、地热、核能等。

信息社会 太阳能、风能、地热、海浪、核能、氢能等高效率、低污染的各项新能源。

利用的主要资源：

采集狩猎社会：天然食物。

农业社会 农业资源（主要是耕地、淡水等可再生资源）

工业社会：工业资源（主要是不可再生矿产资源）、人力资源、资本资源。

信息社会 智力资源、信息资源、再生资源等。

主要的社会组织方式：

采集狩猎社会：家庭、亲族群体。

农业社会：家长制家庭、社区组织。

工业社会：核心家庭、科层制组织。

信息社会：网络组织、多样化组织。

由以上资料可以看出，在不同社会形态之下，人工自然的状况和水平各有特点，呈现出明显的发展趋势。这种发展既表现在不同程度、水平或性质方面，也表现在其所涉及的范围和广度等方面。总之，随着人类社会由原始的采集狩猎社会进入到今天的信息社会，无论从哪一个角度来看，人类对自然的影响都与日俱增，人工自然界的范围不断扩大，人工自然物不断增多，几乎隔绝了人

与自然的直接联系。

三、人工自然性质的不断演变

在工业文明以前的漫长历史时期，人类由最初的采集狩猎，进而从事生物的栽培、驯养和杂交，以获取生存所需的食物。可以说，远古时期的人工自然就是他们所得到的动植物——原始的“生物制品”。稍后一点出现了各种“炼金术”或“炼丹术”。人们学会了冶炼金属、烧制陶瓷、加工火药等。那时人们已经学会了制造和生产简单的化工产品。但总体而言，这时的人工制品较为接近自然，多是利用天然材料简单加工的生物制品或简单加工的化工制品。

随着近代产业革命的发端和不断推进，以纺纱机和织布机的出现为先导，机械的制造和使用技术不断发展。继棉纺、棉织采用机器生产之后，棉纺织业的其他工序——清除棉籽、梳棉、漂白、印染等，也陆续发明和采用了机器，并迅速影响到毛、麻、丝等纺织部门以及造纸、缝纫、印刷等其他轻工业部门。随后，冶炼业和煤炭业迅速崛起，和纺织业一起，成为英国工业革命中建立起来的三大支柱工业。此时各种机械制品大规模出现，机械制品日益复杂，数量日益增多，从小巧玲珑的钟表一直到体积庞大的蒸汽机，历史进入了所谓的机械化时代。当时，蒸汽机和蒸汽船成为时代的象征，蒸汽船把成千上万的欧洲大陆人运往英国，参观激动人心的英国工业革命成果，并把工业革命的火把传递到欧洲大陆，掀起了世界范围内的工业革命浪潮。自工业革命以来，人工制造的物品呈现指数增长，人工自然的范围急剧扩大。18世纪到19世纪，无机化学产品如酸、碱和有机化学产品如染料、医药、炸药等逐一问世，公路、河运、铁路交通发展迅猛，各种矿山机械和矿业产品层出不穷，人们所认识并加以开发和作用的自然界在迅速扩大。随着人工自然的扩展，人类的欲望和自信心空前膨胀，自以为居于自然万物之上，成为万物的尺度，成为自然的统治者。“征服自然”、“向自然开

战”成了传诵一时的口号，人和自然的对立开始形成并不断发展。

20世纪五六十年代以来，由于环保意识的觉醒，人们开始崇尚和追求更高层次的健康食品、天然制品、生物制品。与此同时，生理科学、人体医学、仿生学、遗传学、病毒学、生物制药、海洋工程、绿色农业、生态农业等新型学科和技术迅速发展，为人们提供了足够的手段，来满足人类的新追求和实现社会产品的转轨。例如，在衣着方面，人们倾向于生产更多的天然棉、毛、丝绸制品。在食品业，人们倾向于生产更多的绿色食品、天然食品，转基因类食品受到消费者怀疑和排斥就是一个很好的反面例证。这一时期，人们开始采取措施，使人工自然的发展与天然自然的存在相协调，使人工自然制品更接近于天然产品，使人类本身与自然界和谐相处。

需要指出的是，人工自然的进化过程和自然界的发展过程有一个重要区别，这就是自然界的演化发展过程是一个自组织过程，而人工自然的进化过程需要人的参与，是一个“被组织过程”。也许正是因为这一点，人工自然的进化才造成了许多副作用，破坏了自然界的生态平衡，甚至给人类带来了生存危机，这也就是人工自然进化所付出的代价。

无论是作为存在物的人工自然，还是作为进化过程的人工自然，都具有两面性。这种两面性具体地表现在人工自然的进化趋势及其为进化所付出的代价上。这种两面性是客观的、不可避免的。一方面，人类社会总要不断发展，人工自然总要不断进化，而另一个方面，直接体现技术力量和人类意志的人工自然，在不断进化的同时不可避免地要付出代价。

由上面分析我们不难理出一条线索，就是人工自然物大致是由原始的生物制品和简单的化工产品到复杂的机械、化工、电子类产品再到最新的生物制品、绿色食品，走过了一个否定之否定的螺旋式道路，体现了人对自然的依赖——人与自然的对立——人与自然的和解的辩证过程，体现了人类最终向自然的认同和复归。

主要参考书目

1. 杨振宁 基本粒子发现简史 上海科学技术出版社,1963
2. 坂田昌一:新基本粒子观对话,三联书店,1965
3. M.V.劳厄 物理学史 商务印书馆,1978
4. J.R.柏廷顿:化学简史,商务印书馆,1979
5. S.温伯格:最初三分钟,科学出版社,1981
6. S.L.米勒、L.E.奥吉尔:地球上生命的起源,科学出版社,1981
7. 傅世侠等 科学前沿的哲学探索 辽宁人民出版社,1983
8. 米都斯等:增长的极限,四川人民出版社,1984
9. 舒炜光等 自然辩证法原理 吉林人民出版社,1984
10. 潘永祥等 自然科学发展简史 北京大学出版社,1984
11. 林德宏:科学思想史,江苏科学技术出版社,1985
12. 黄顺基等:自然辩证法教程,中国人民大学出版社,1985
13. 金吾伦选编 自然观与科学观 知识出版社,1985
14. 马传栋:生态经济学,山东人民出版社,1986
15. 沈殿忠 打开自然界奥秘的钥匙 中国青年出版社,1987
16. I.D.诺维可夫:宇宙的演化,科学出版社,1988
17. 解恩泽等:自然科学概论,东北师范大学出版社,1988
18. 沈小峰、王德胜 自然辩证法范畴论 北京师范大学出版社,1990
19. 苗东升 系统科学原理 中国人民大学出版社,1990
20. 国家教委社会科学研究与艺术教育司:自然辩证法概论,高等教育出版

社,1991

21. 黄顺基等:科学技术哲学引论,中国人民大学出版社,1991
22. 孙小礼、张瑞现、吴义生等 自然辩证法通论(自然论)高等教育出版社,1992
23. 沈小峰、吴彤、曾国屏 自组织的哲学 中共中央党校出版社,1993
24. 孙纪成:走向真理,济南出版社,1995
25. 罗嘉昌:从物质实体到关系实在,中国社会科学出版社,1996
26. 吴国盛:时间的观念,中国社会科学出版社,1996
27. 杨德才等:自然辩证法导论,湖北人民出版社,1996
28. 高奇 现代自然科学原理 山东大学出版社,1996
29. 栾玉广等:自然辩证法原理,中国科学技术大学出版社,1997
30. 沈骊天 当代自然辩证法 南京大学出版社,1997
31. 李思孟等 自然辩证法新编 华中科技大学出版社,1997
32. 周毅:21世纪中国人口与资源、环境、农业可持续发展,山西经济出版社,1997
33. 郭佳新、安维复 从征服到和谐 济南出版社,1997
34. 北京大学自然科学处编:聆听大师,北京大学出版社,1998
35. 童天湘等 新自然观 中共中央党校出版社,1998
36. 姜正冬、夏从亚、肖德武 自然辩证法导论 南海出版公司,1998
37. 晏磊:可持续发展基础,华夏出版社,1998
38. 杨振宁:基本粒子及其相互作用,湖南教育出版社,1999
39. T. L. 汉金斯:科学与启蒙运动,复旦大学出版社,2000
40. 周光召、牛文元等 中国可持续发展战略 西苑出版社,2000
41. 刘大椿:科学技术哲学导论,中国人民大学出版社,2000
42. 斯蒂芬·霍金:时间简史,湖南科学技术出版社,2001
43. 文兴吾、张越川 中国可持续发展道路探索 四川人民出版社,2001
44. 李培超:自然的伦理尊严,辽西人民出版社,2001
45. 杨见奎等:自然辩证法概论,同济大学出版社,2001
46. 高奇:系统科学概论,山东大学出版社,2001