

目 录

第一章 绪论	1
第一节 环境概述	1
第二节 环境问题	6
第三节 国内外环境保护发展历程	13
第二章 生态学及生态环境	18
第一节 生态系统基本概念	18
第二节 生态平衡及其意义	28
第三章 可持续发展的基本理论	32
第一节 可持续发展理论的产生与发展	32
第二节 可持续发展理论的基本内涵与特征	35
第三节 可持续发展理论的指标体系	37
第四节 中国实施可持续发展战略的行动	43
第四章 循环经济和低碳经济	46
第一节 清洁生产	46
第二节 循循环经济	49
第三节 低碳经济	53
第五章 资源环境保护	59
第一节 概述	59
第二节 水资源的利用与保护	60
第三节 土地资源的利用与保护	64
第四节 生物资源的利用与保护	67
第五节 矿产资源的利用与保护	75
第六章 环境污染与人体健康	79
第一节 人与环境的辩证关系	79



第二节 环境污染及其对人体的作用	81
第三节 室内环境与人体健康	89
第七章 水污染及其防治	93
第一节 概述	93
第二节 水质指标与水质标准	99
第三节 水污染控制与处理技术	102
第四节 水资源化	106
第五节 海洋污染	108
第八章 大气污染及其防治	112
第一节 概述	112
第二节 气象条件对污染物传输扩散的影响	117
第三节 主要大气污染的防治技术	123
第九章 土壤污染及其防治	131
第一节 土壤污染概述	131
第二节 土壤重金属污染及其防治	135
第三节 农药污染	143
第四节 化肥污染	147
第十章 固体废物及其资源化	149
第一节 概述	149
第二节 固体废物的处理	153
第三节 固体废物资源化技术	156
第四节 固体废物的最终处置	157
第五节 城市生活垃圾的处理	159
第十一章 物理性污染及其防治	162
第一节 噪声污染及其控制	162
第二节 电磁性污染及其控制	168
第三节 放射性污染及其控制	169
第四节 光污染、热污染及其防治	171
第十二章 能源与环境	173
第一节 能源概述	173
第二节 常规能源——煤、石油和天然气	175
第三节 核能	180
第四节 新型清洁能源	182

目 录

第十三章 环境管理	186
第一节 环境管理概述	186
第二节 环境法	193
第三节 环境标准	195
第四节 环境监测	197
第十四章 环境质量评价	202
第一节 环境质量评价概述	202
第二节 环境质量现状评价	203
第三节 环境影响评价	205
参考文献	212

延边大学出版社

第一章 緒論

第一节 環境概述

一、環境的概念

环境（environment）总是相对于某一中心事物而言的。环境因中心事物的不同而不同，随中心事物的变化而变化。围绕中心事物的外部空间、条件和状况，构成中心事物的环境。我们通常所称的环境是指人类的环境，即以人为中心事物而言的，除人以外的一切其他生命体与非生命体均被视为环境的对象，因此，环境即是以人为中心事物而存在于周围的一切事物。这里不考虑其对人类的生存与发展是否有影响。

对于环境科学来说，中心事物仍然是人类，但环境主要是指与人类密切相关的生存环境。它的含义可以概括为：“作用在‘人’这一中心客体上的、一切外界事物和力量的总和。”人与环境之间存在着一种对立统一的辩证关系，是矛盾的两个方面，他们既相互作用、相互依存、相互促进和相互转化，又相互对立和相互制约。

当前，世界各国对各自国家的环境保护政策都有明确的规定，但这些规定和各国法律对环境的解释又不尽相同。我国颁布的《中华人民共和国环境保护法》中明确指出：“本法所称环境，是指影响人类生存和发展的各种天然的和经过人工改造的自然因素的总体，包括大气、水、海洋、土地、矿藏、森林、草原、野生生物、自然遗迹、人文遗迹、自然保护区、风景名胜区、城市和乡村等。”法律明确规定，环境内涵就是指人类的生存和发展环境，并不泛指人类周围的所有自然因素。这里的“自然因素的总体”强调的是“各种天然的和经过人工改造的”，即法律所指的“环境”，既包括了自然环境，也包括了社会环境。所以人类的生存环境有别于其他生物的生存环境，也不同于所谓的自然环境。

二、環境的分类和组成

环境既包括以空气、水、土地、植物、动物等为内容的物质因素，也包括以观念、制度、行为准则等为内容的非物质因素；既包括自然因素，也包括社会因素；既包括非生命体形式，也包括生命体形式。通常按环境的属性，将环境分为自然环境、人工环境和社会

环境。

自然环境（natural environment）是指未经过人的加工改造而天然存在的环境。自然环境按环境要素，又可分为大气环境、水环境、土壤环境、地质环境和生物环境等，主要指地球的五大圈——大气圈、水圈、土圈、岩石圈和生物圈。

人工环境（artificial environment）是指在自然环境的基础上经过人的加工改造所形成的环境，或人为创造的环境。人工环境与自然环境的区别，主要在于人工环境对自然物质的形态做了较大的改变，使其失去了原有的面貌。

社会环境（social environment）是指由人与人之间的各种社会关系所形成的环境，包括政治制度、经济体制、文化传统、社会治安、邻里关系等。

通常，按照人类生存环境的空间范围，可由近及远、由小到大地分为聚落环境、地理环境、地质环境和星际（宇宙）环境等层次结构，而每一层次均包含各种不同的环境性质和要素，并由自然环境和社会环境共同组成。

（一）聚落环境

聚落是指人类聚居的中心，活动的场所。聚落环境（settlement environment）是人类有目的、有计划地利用和改造自然环境而创造出来的生存环境，是与人类的生产和生活关系最密切、最直接的工作和生活环境。聚落环境中的人工环境因素占主导地位，也是社会环境的一种类型。人类的聚落环境，从自然界中的穴居和散居，直到形成密集栖息的乡村和城市。显然，聚居环境的变迁和发展，为人类提供了安全清洁和舒适方便的生存环境。但是，聚落环境及周围的生态环境由于人口的过度集中、人类缺乏节制的频繁活动以及对自然界的资源和有旨源超负荷索取而受到巨大的压力，造成局部、区域乃至全球性的环境污染。因此，聚落环境历来都引起人们的重视和关注，也是环境科学的重要和优先研究领域。

聚落环境根据其性质、功能和规模可分为院落环境、村落环境、城市环境等。

1. 院落环境

院落环境（courtyard environment）是由一些功能不同的建筑物和与其联系在一起的场院组成的基本环境单元。它的结构、布局、规模和现代化程度是很不相同的，因而，它的功能单元分化的完善程度也是很悬殊的。它可以简单到一间孤立的房屋，也可以复杂到一座大庄园。由于发展的不平衡，它可以是简陋的茅舍，也可以是防震、防噪声和有自动化空调设备的现代化住宅。它不仅有明显的时代特征，也具有显著的地方色彩。例如，北极地区爱斯基摩人的小冰屋，热带地区巴布亚人筑在树上的茅舍，我国西南地区的竹楼，内蒙古草原的蒙古包，黄土高原的窑洞，干旱地区的平顶房，寒冷地区的火墙、火炕，以及我国北方讲究的“向阳门第”、南方喜欢的“阴凉通风”。这些都说明：院落环境是人类在发展过程中为适应自己的生产和生活需要而因地制宜创造出来的。

院落环境在保障人类工作、生活和健康及促进人类发展过程中起到了积极的作用，但

也相应地产生了消极的环境问题。例如，南方房子阴凉通风，以致冬季在室内比在室外阳光下还要冷；北方房屋注意保暖而忽视通风，以致空气污染严重。所以，在今后聚落环境的规划设计中，要加强环境科学的观念，以便在充分考虑利用和改造自然的基础上，创造出内部结构合理并与外部环境协调的院落环境。所谓内部结构合理，不仅是指各类房间布局适当、组合成套，而且还要求有一定灵活性和适应性，能够随着居民需要的变化而改变一些房间的形状、大小、数目、布局和组合，机动灵活地利用空间，方便生活。所谓与外部环境协调，也不仅是只从美学观点出发，在建筑物的结构、布局、形态和色调上与外部环境相协调，更重要的是还须从生态学观点出发，充分利用自然生态系统中能量流和物质流的迁移转化规律来改善工作和生活环境。例如，在院落的规划设计中，要充分考虑到太阳能的利用，以节约燃料、减少大气污染等。

院落环境的污染主要是由居民的生活“三废”造成的。提倡院落环境园林化，在室内、室外、窗前、房后种植瓜果、蔬菜和花草，美化环境，净化环境，调控人类、生物与大气之间的二氧化碳与氧气平衡。近年来国内外不少人士主张大力推广无土栽培技术，不仅可以创造一个色、香、味俱美，清洁新鲜，令人心旷神怡的居住环境，而且其产品除供人畜食用外，所收获的有机质及生活废弃物又可用作生产沼气来提供清洁能源的原料，其废渣、废液又可用作肥料，以促进我们收获更多的有机质和“太阳能”。这样就把院落环境建成一个结构合理、功能良好、物尽其用的人工生态系统，同时减少了居民“三废”的排放。

2. 村落环境

村落主要是农业人口聚居的地方。由于自然条件的不同，以及农、林、牧、副、渔等农业活动的种类、规模和现代化程度的不同，无论是从结构、形态、规模还是从功能上来看，村落的类型都是多种多样的，如平原上的农村、海滨湖畔的渔村、深山老林的山村等，因而，它所遇到的环境问题也是各不相同的。

村落环境（village environment）的污染主要来自于农业污染及生活污染，特别是农药、化肥的使用使污染日益增加，影响农副产品的质量，威胁人们的身体健康，甚至危及人们的生命。因此，必须加强对农药、化肥的管理，严格控制施用剂量、时机和方法，并尽量利用综合性生物防治来代替农药防治，用速效、易降解的农药代替难降解的农药，尽量多施用有机肥，少用化肥，提高施肥技术和改善施肥效果。

提倡建设生态新农村，走可持续发展道路。应因地制宜，充分利用农村的自然条件，综合利用自然能源，如太阳能、风能、水能、地热能、生物能等分散性自然能源都是资源非常丰富并可更新的清洁能源。还可以人工建立绿色能源基地，种植速生高产的草木，以收获更多的有机质和“太阳能”，从而改变自然能源的利用方式，提高其利用率。另外，把养殖业的畜禽粪便及其他有机质废物制成沼气，既可以提供给生活作为煮饭燃料、照明能源等，又降低了污染，美化了环境，是打造低碳新农村的可行之路。

3. 城市环境

城市环境（urban environment）是人类利用和改造环境而创造出来的高度人工化的生存环境。

城市有现代化的工业、建筑、交通、运输、通信、文化娱乐及其他服务行业，为居民的物质和文化生活创造了优越条件，但是由于城市人口密集、工厂林立、交通阻塞等，使环境遭受严重的污染和破坏。

城市是以人为主体的人工生态环境。其特点是：人口密集；占据大量土地，地面被建筑物、道路等覆盖，绿地很少；物种种群发生了很大变化，野生动物极少，而多为人工养殖宠物；城市环境系统是不完全的生态系统，在城市中主要是消费者，而生产者和分解者所占比例相对较小，与其在自然生态系统中的比例正好相反，呈现出以消费者为主体的倒三角形营养结构。城市的生产者（植物）的产量远远不能满足人们对粮食的需要，必须从城市之外输入。城市因消费者而产生的大量废弃物往往自身又难以分解，必须送往异地。所以，为满足城市系统的正常运行而形成的在城市系统中的巨大能源流、物质流和信息流对环境产生的影响是不可低估的。

城市化对环境的影响有以下几个方面。

(1) 城市化对大气环境的影响

①城市化改变了下垫面的组成和性质。城市用砖瓦、混凝土以及玻璃和金属等人工表面代替了土壤、草地和森林等自然地面，改变了反射和辐射面的性质及近地面层的热交换和地面粗糙度，从而影响大气的物理性状。

②城市化改变了大气的热量状况。城市化消耗大量能源，并释放出大量热能。大气环境所接受的这种人工热能，接近甚至超过它所接受的太阳能和天空辐射能，使城市市区气温明显高于郊区和农村。

③城市化大量排放各种气体和颗粒污染物。这些污染物会改变城市大气环境的组成。城市燃煤及汽车排放出大量的烟尘、SO₂、CO、NO₂、光化学烟雾污染大气环境，使大气环境质量恶化。

因而，相对来说，城市气温高，云量、雾量、降雨量多，大气中烟尘、碳氧化物、氮氧化物、硫氧化物以及多环芳烃等含量较高。伦敦型烟雾和洛杉矶型烟雾等重大污染事件大都发生在城市中。但相对湿度、能见度、风速、地平面所接受的总辐射和紫外辐射等则较低，而局部湍流较多。由于城市气温高于四周，往往形成城市热岛。城市市区被污染的暖气流上升，并从高层向四周扩散；郊区较新鲜的冷空气则从底层吹向市区，构成局部环流。这样，加强了市区与郊区的气体交换，但也一定程度上使污染物存留于局部环流之中，而不易向更大范围扩散，常常在城市上空形成一个污染物幕罩。

(2) 城市化对水环境的影响

①对水量的影响。城市化增加了房屋和道路等不透水面积和排水工程，特别是暴雨排

水工程，从而减少渗透，增加流速，地下水得不到地表水足够的补给，破坏了自然界的水分循环，致使地表总径流量和峰值流量增加，滞后时间（径流量落后于降雨量的时间）缩短。

城市化增加耗水量，往往导致水源枯竭、供水紧张。地下水过度开采，常导致地下水位下降和地面下沉。

②对水质的影响。这主要是指生活、工业、交通、运输以及其他行业对水环境的污染。

(3) 城市化对于生物环境的影响 城市化严重地破坏了生物环境，改变了生物环境的组成和结构，使生产者有机体与消费者有机体的比例不协调，特别是近代工商业大城市的发展，往往不是受计划的调节，而是受经济规律的控制，许多城市房屋密集、街道交错，到处是混凝土建筑和柏油路面，森林和草地几乎完全消失，除了熙熙攘攘的人群，几乎看不到其他的生命，称为“城市荒漠”。尤其在闹市区，高楼夹峙，街道深陷，形同峡谷，更给人以压抑之感。与此同时，野生动物群在城市中消失，鸟儿也少见踪影，这种变化在20世纪60年代已经引起了人们的注意，它使生态系统遭到破坏，影响到碳、氧等物质循环。为了改善城市环境，许多国家都制定了切实可行的措施，加强城市绿化。我国各大城市也都正在为创造优美、清洁的城市环境而大力开展绿化工作。

(4) 城市化对环境的其他影响 城市化过程还造成振动、噪声、微波污染，以及交通紊乱、住房拥挤、供应紧张等一系列困扰人民工作和生活的环境问题。城市规模越大，环境问题就越严重。近年来在发达国家出现了人口自城市中心向郊区流动的趋势。城区居民纷纷迁往郊外，形成白天进城工作而晚间或假日回郊区休息的生活方式。这样就使交通更加拥挤，能源消耗更大，大气污染更加严重。

城市化的趋势是必然的，但城市过大的弊端又是明显的。为了防止城市化造成的不良影响，主要应采取以下措施：控制人口；禁止在大城市兴建某些工业；征收高额环境保护税、土地税；疏散企业和机构，建立卫星城、带状城，或有计划地建立中、小城市。

(二) 地理环境

地理环境(geographical environment)是指一定社会所处的地理位置以及与此相联系的各种自然条件的总和，包括气候、土地、河流、湖泊、山脉、矿藏以及动植物资源等。地理环境是能量的交错带，位于地球表层，即岩石圈、水圈、土壤圈、大气圈和生物圈相互作用的交错带上。它下起岩石圈的表层，上至大气圈下部的对流层顶，厚10~20km，包括了全部的土壤圈，其范围大致与水圈和生物圈相当。概括地说，地理环境是由与人类生存和发展密切相关，直接影响到人类衣、食、住、行的非生物和生物等因子构成的复杂的对立统一体，是具有一定结构的多级自然系统，水、土、大气、生物圈都是它的子系统。每个子系统在整个系统中有着各自特定的地位和作用，非生物环境都是生物(植物、动物和微生物)赖以生存的主要环境要素，它们与生物种群共同组成生物的生存环境。这

里是来自地球内部的内能和来自太阳辐射的外能的交融地带，有着适合人类生存的物理条件、化学条件和生物条件，因而构成了人类活动的基础。

(三) 地质环境

地质环境（geological environment）主要指地表以下的坚硬地壳层，也就是岩石圈部分。地理环境是在地质环境的基础上，在宇宙因素的影响下发生和发展起来的，地理环境和地质环境以及星际环境之间经常不断地进行着物质和能量的交换。岩石在太阳能作用下的风化过程，使被固结的物质解放出来，参加到地理环境中去，参加到地质循环乃至星际物质大循环中去。

如果说地理环境为我们提供了大量的生活资料、可再生的资源，那么，地质环境则为我们提供了大量的生产资料——丰富的矿产资源和难以再生的资源。矿物资源是人类生产资料和生活资料的基本来源，对矿产资源的开发利用是人类社会发展的前提和动力。

(四) 宇宙环境（星际环境）

宇宙环境（cosmic environment），又称星际环境，是指地球大气圈以外的宇宙空间环境，由广袤的空间、各种天体、弥漫物质以及各类飞行器组成。

目前人类能观察到的空间范围已达 100 多亿光年的距离。自古以来，人类采用各种方法观测宇宙、探寻宇宙的奥秘，直到 1957 年人造地球卫星上天，人类才开始离开地球进入宇宙空间进行探测活动。随着航天事业的发展，载人飞船发射成功，我国也于 2003 年由杨利伟成功地实现了千年飞天梦，人类又揭开了宇宙探索的新篇章。在不久的将来人类还会奔向更遥远的太空。

各星球的大气状况、温度、压力差别极大，与地球环境相差甚远。在太阳系中，我们居住的地球距太阳不近也不远，正处于“可居住区”之内，转动得不快也不慢，轨道离心率不大，致使地理环境中的一切变化极有规律，又不过度剧烈，这些都为生物的繁茂昌盛创造了美好的条件。地球是目前所知道的唯一一个适合人类居住的星球。我们研究宇宙环境是为了探求宇宙中各种自然现象及其发生的过程和规律对地球的影响。例如，太阳的辐射能量变化和对地球的引力作用会影响地球的地理环境，与地球的降水量、潮汐现象、风暴和海啸等自然灾害有明显的相关性。人类对太阳系的研究有助于对地球的成因及变化规律的了解；有助于人类更好地掌握自然规律和防止自然灾害，创造更理想的生存空间；同时也为星际航行、空间利用和资源开发提供可循依据。

第二节 环境问题

环境问题是由于人类活动作用于人们周围的环境所引起的环境质量变化，以及这种



变化反过来对人类的生产、生活和健康的影响问题。人类在改造自然环境和创建社会环境的过程中，自然环境仍以其固有的自然规律变化着。社会环境一方面受自然环境的制约，同时也以其固有的规律运动着。人类与环境不断地相互影响和作用，产生环境问题。

一、环境问题及其分类

1. 原生环境问题

环境问题多种多样，由自然演变和自然灾害引起的环境问题为原生环境问题 (primitive environment)，也称第一环境问题。如地震、火山爆发、滑坡、泥石流、台风、洪涝、干旱等。

2. 次生环境问题

由人类活动引起的环境问题为次生环境问题 (secondary environment)，也称第二环境问题。次生环境问题一般又分为环境污染和环境破坏两大类。在人类生产、生活中产生的各种污染物（或污染因素）进入环境，当超过了环境容量的容许极限时，使环境受到污染；人类在开发利用自然资源时，超越了环境自身的承载能力，使生态环境遭到破坏，或出现自然资源枯竭的现象，这些都属于人为造成的环境问题。我们通常所说的环境问题，多指人为因素造成的。

二、环境问题的产生

从人类诞生开始就存在着人与环境的对立统一关系，人类利用和改造自然的能力越强，

对环境的影响越大，因而环境问题是随着人类生产力的迅猛提高而日益凸显出来，并随之发展和变化的，大体上可分为以下四个阶段。

1. 环境问题萌芽阶段（工业革命以前）

人类诞生后在很漫长的岁月里，只是天然食物的采集者和捕食者，那时人类主要是利用环境，而很少有意识地改造环境，人类对环境的影响不大。

随后，人类学会了培育植物、驯化动物，开始发展农业和畜牧业，这在生产发展史上是一次大革命。而随着农业和畜牧业的发展，人类改造环境的作用也越来越明显地显示出来，但与此同时也产生了相应的环境问题，如大量开发森林、破坏草原、盲目耕火种、盲目开荒，往往引起严重的水土流失、水旱灾害频繁和沙漠化。又如兴修水利，不合理灌溉，往往引起土壤的盐渍化、沼泽化，以及引起某些传染病的流行。在工业革命以前虽然已出现了城市化和手工业作坊（或工厂），但工业生产并不发达，由此引起的环境污染问题并不突出。

2. 环境问题的发展恶化阶段（工业革命至 20 世纪 50 年代以前）

1784 年瓦特发明了蒸汽机，迎来了工业革命，使生产力获得了飞跃的发展，从而增强了人类利用和改造自然的能力，同时大规模地改变了环境的组成和结构，还改变了环境中的物质循环系统，与此同时也带来了新的环境问题。如 1873 年 12 月、1880 年 1 月、1882 年 2 月、1891 年 12 月、1892 年 2 月英国伦敦多次发生可怕的有毒烟雾事件，1930 年 12 月的比利时马斯河谷烟雾事件，1943 年 5 月的美国洛杉矶光化学烟雾事件，1948 年 10 月的美国多诺拉硫酸烟雾事件等。可见由于蒸汽机的发明和广泛使用，生产力有了很大的提高，使大工业日益发展，环境问题也随之发展且逐步恶化。一些工业发达的城市和工矿区的工业企业排出大量废弃物污染环境，使污染事件不断发生。

3. 环境问题的第一次高潮（20 世纪 50 年代至 80 年代以前）

环境问题的第一次高潮出现在 20 世纪 50—60 年代。20 世纪 50 年代以后，环境问题更加突出，震惊世界的公害事件接连不断。如 1952 年 12 月的伦敦烟雾事件、1953—1956 年的日本水俣病事件、1961 年的日本四日市哮喘病事件、1963 年 3 月的日本爱知县米糠油事件、1955—1972 年的日本骨痛病事件。这就形成了第一次环境问题高潮。主要是由下列因素造成的。

首先是人口迅猛增长，城市化的速度加快。19 世纪初（约 1830 年），世界人口只有 10 亿，经过 100 年（1930 年）人口增加了 10 亿，而世界人口增加第三个 10 亿仅仅经过了 30 年，增加第四个 10 亿仅仅用了 15 年。1975 年世界人口增至 40 亿，到 1987 年增至 50 亿，到 1999 年 10 月 12 日，世界人口已达 60 亿，近几十年世界人口呈现了爆炸式的增长。

其次是工业不断集中和扩大，能源消耗大增。1900 年世界能源消耗量还不到 10 亿吨煤当量，到 1950 年就猛增至 25 亿吨煤当量，到 1956 年石油的消费量也猛增至 6 亿吨，在能源中所占的比例增大，而且又增加了新污染，碳的排放量也迅速增加。而当时人们的环境意识还很薄弱，因此，第一次环境问题高潮出现是必然的。

4. 环境问题的第二次高潮（20 世纪 80 年代以后）

环境问题的第二次高潮是伴随着环境污染和大范围生态破坏，在 20 世纪 80 年代初开始出现的。此时，人们共同关心的影响范围大和危害严重的环境问题有三类：一是全球性的大气污染，如温室效应、臭氧层破坏和酸雨；二是大面积生态破坏，如大面积森林被毁、草场退化、土壤侵蚀和荒漠化；三是突发性的污染事件叠起，如印度博帕尔农药泄漏事件（1984 年 12 月）、前苏联切尔诺贝利核电站泄漏事件（1986 年 4 月）、莱茵河污染事件（1986 年 11 月）等。在 1979—1988 年间，这类突发性的严重污染事故就发生了十多起。

前后两次高潮有很大的不同，有明显的阶段性，主要表现在以下几个方面。

（1）影响范围不同 第一次高潮主要出现在工业发达国家，重点是局部性、小范围的

环境污染问题。第二次高潮则是大范围，乃至全球性的环境污染和大面积生态破坏。这些环境问题不仅对某个国家、某个地区造成危害，而且对人类赖以生存的整个地球环境造成危害。

(2) 危害后果不同 第一次高潮人们关心的是环境污染对人体健康的影响，那时环境污染虽也造成经济损失，但问题还不突出。第二次高潮不但明显损害人类健康，而且全球性的环境污染和生态破坏已威胁到全人类的生存与发展，阻碍经济的可持续发展。

(3) 污染源不同 第一次高潮的污染来源尚不太复杂，较易通过污染源调查弄清产生环境问题的来龙去脉。通过采取适当措施，污染就可以得到有效控制。第二次高潮出现的环境问题，污染源和破坏源众多，不但分布广，而且来源杂，既来自人类的经济生产活动，也来自人类的日常生活活动，既来自发达国家，也来自发展中国家。解决这些环境问题只靠一个国家的努力很难奏效，要靠众多国家甚至全人类的共同努力才行，这就极大地增加了解决问题的难度。

(4) 第一次高潮的公害事件与第二次高潮的突发性严重污染事件也不相同 第二次高潮一是带有突发性，二是事故污染范围广，危害严重，经济损失巨大。例如，印度博帕尔农药泄漏事件，受害面积达 40 km^2 ，据美国一些科学家估计，死亡人数为 0.6 万—1 万人，受害人数为 10 万—20 万人，其中有许多人双目失明或肢体残疾。

综上所述，就环境问题本身的发生、发展来看，可分为环境问题发展萌芽阶段、环境问题恶化阶段、第一次环境问题高潮阶段和第二次环境问题高潮阶段四个阶段。可见，环境问题是自人类出现而产生的，又伴随人类社会的发展而发展，老的问题解决了，新的问题又出现了。人与环境的矛盾是不断运动、不断变化、永无止境的。

三、当代环境问题

到目前为止已经威胁人类生存并已被人类认识到的环境问题主要有温室效应、臭氧层耗竭、酸雨、淡水资源危机、大气污染、能源和资源短缺、森林锐减、土地荒漠化、生物多样性锐减、垃圾围城、海洋污染、有毒化学品污染、危险废物越境转移等众多方面。

1. 温室效应 (greenhouse effect)

温室效应是指大气中的温室气体通过对长波辐射的吸收而阻止地表热能耗散，从而导致地表温度增高的现象。近 100 多年来，全球平均气温经历了冷一暖一冷一暖两次波动，总体为上升趋势，进入 20 世纪 80 年代后，全球气温明显上升。导致全球变暖的主要原因是人类活动和自然界排放的大量温室气体，如二氧化碳 (CO_2)、甲烷、氟氯烃、一氧化二氮、低空臭氧等，由于这些温室气体对来自太阳辐射的短波具有高度的透过性，而对地球反射出来的长波辐射具有高度的吸收性，造成温室效应，导致全球气候变暖。其中最重要的温室气体 CO_2 来源于人类大量使用煤炭、石油和天然气等燃料。由于世界上人口的增加和经济的迅速增长，排入大气中的 CO_2 也越来越多。有关资料指出，过去 100 年人类

通过化石燃料的燃烧，约把 4150 亿吨的 CO₂ 排入大气，这使全球平均气温上升约 0.83℃，按照目前化石燃料燃烧的增加速度，大气中 CO₂ 将在 50 年内加倍，这将使中纬地区温度升高 2—3℃，极地升高 6—10℃。

全球变暖的后果，是会使极地或高山上的冰川融化，导致海平面上升。据推算，全球增温 1.5~4.5℃，海平面会上升 20~165cm，从而将淹没沿海大量繁华的城市、低地和海岛。此外，温室效应可引起全球性气候变化，会对陆地自然生态系统产生难以预料的影响，如高温、干旱、洪涝、疾病、暴风雨和热带风加剧等，使热带雨林和生物多样性减少，农作物减产，从而威胁人类的食物供应和居住环境。

面对全球气候变化，急需世界各国协同降低或控制二氧化碳排放。1997 年 12 月，《联合国气候变化框架公约》第三次缔约方大会在日本京都召开。149 个国家和地区的代表通过了旨在限制发达国家温室气体排放量，以抑制全球变暖的《京都议定书》，目标是在 2008—2012 年间，将发达国家 CO₂ 等 6 种温室气体（二氧化碳、甲烷、一氧化二氮、六氟化硫、氢氟碳化物和全氟化碳）的排放量在 1990 年的基础上平均削减 5.2%。2007 年 3 月，欧盟各成员国领导人一致同意，单方面承诺到 2020 年将欧盟温室气体排放量在 1990 年的基础上至少减少 20%。2009 年 12 月，联合国在丹麦哥本哈根召开了气候变化框架公约第 15 次缔约方会议，旨在各国携手共同抑制全球变暖。

2. 臭氧层耗竭 (ozone depletion)

在地球大气层近地面 20~30km 的平流层里存在着一个臭氧层，其中臭氧含量占这一高度气体总量的十万分之一。臭氧含量虽然极微，却具有强烈吸收紫外线的功能，因此，它能挡住太阳紫外辐射对地球生物的伤害，保护地球上的生命。然而人类生产和生活所排放出的一些污染物，如制冷剂氟氯烃类化合物、氮氧化物，受到紫外线的照射后可被激化形成活性很强的原子，与臭氧层的臭氧 (O₃) 作用，使其变成氧分子 (O₂)，这种作用连锁般地发生，臭氧迅速耗减，使臭氧层遭到破坏。据统计，南极上空臭氧层空洞面积已达 2400km²，约占总面积的 60%，北半球上空臭氧层比以往任何时候都薄，欧洲和北美上空臭氧层平均减少了 10%~15%，西伯利亚上空甚至减少了 35%。臭氧层的破坏将导致皮肤癌和角膜炎患者增加，并破坏地球上的生态系统。

3. 酸雨 (acid rain)

pH 小于 5.6 的雨、雪或其他形式的大气降水称为酸雨。由化石燃料燃烧和汽车排放的二氧化硫 (SO₂) 和氮氧化物 (NO_x) 等酸性气体，在大气中形成硫酸和硝酸后，又以雨、雪、雾等形式返回地面，形成酸雨。在受酸雨危害的地区，出现了土壤和湖泊酸化，植被和生态系统遭受破坏，建筑材料、金属结构和文物被腐蚀等一系列严重的环境问题。酸雨可对人体呼吸系统和皮肤等造成损害。全球受酸雨危害严重的有欧洲、北美及东亚南地区。我国西南、华南和东南地区的酸雨危害也相当严重。

4. 淡水资源危机 (the crisis of fresh water resource)

地球总水量不少，但可用于生产和生活的淡水资源只有很少的一部分（参见第五章第二节）。由于一方面清洁水源被大量滥用、浪费和污染，另一方面，淡水的区域分布不均匀，致使世界上缺水现象十分普遍，全球淡水危机日趋严重。目前世界上 100 多个国家和地区缺水，其中 28 个被列为严重缺水的国家和地区。我国广大的北方和沿海地区水资源严重不足，全国 500 多座城市中，有 300 多座城市缺水。随着地球上人口的激增，生产迅速发展，水的需求在不断增加，使淡水资源更加紧张。一些河流和湖泊的枯竭、地下水的耗尽及湿地的消失，不仅给人类生存带来严重威胁，而且许多生物也正随着人类生产和生活造成的河流改道、湿地干化和生态环境恶化而灭绝。

5. 大气污染 (air pollution)

大气污染的主要因子为悬浮颗粒物、硫氧化物、氮氧化物、臭氧、一氧化碳、二氧化碳、铅等（参见第八章第一节）。大气污染导致每年有 30 万～70 万人因烟尘污染提前死亡，2500 万的儿童患慢性喉炎，400 万～700 万的农村妇女和儿童受害。

6. 资源和能源短缺 (the shortage of resource and energy)

当前，世界上资源和能源短缺问题已经在大多数国家甚至全球范围内出现。这种现象的出现，主要是人类对资源、能源无计划、不合理地大规模开采所致。20 世纪 90 年代初全世界消耗能源总数约 100 亿吨标准煤，2005 年全球范围的能源消耗量已达到 153 亿吨标准煤，国际能源机构在《2007 年世界能源展望》报告中指出未来 20 多年内世界能源消耗量将剧增 55%。从目前石油、煤、水利和核能发展的情况来看，要满足这种需求是十分困难的。因此，在新能源（如太阳能、风能、核能等）开发利用尚未取得较大突破之前，世界能源供应将日趋紧张。此外，其他不可再生性矿产资源的储量也在日益减少，这些资源终究会被消耗殆尽。

7. 森林锐减 (forest decrease)

森林是人类赖以生存的生态系统中的一个重要的组成部分。地球上曾经有 76 亿公顷的原生森林，1860 年减至 55 亿公顷，1990 年降到 40.8 亿公顷，2005 年仅有 39.52 亿公顷。由于世界人口的增长，对耕地、牧场、木材的需求量日益增加，导致对森林的过度采伐和开垦，使森林受到前所未有的破坏。此外，全球每年平均有 1.04 亿公顷的森林受到林火、有害生物（包括病虫害）以及干旱、风雪、冰冻和洪水等气候事件影响。据统计，全世界每年约有 1200 万公顷的森林消失，其中绝大多数是对全球生态平衡至关重要的热带雨林。

2006 年联合国发布的《2005 年全球森林资源评估报告》显示，20 世纪 90 年代以来，世界各国政府强化森林资源的保护与管理，完善法律法规，制定森林政策，开展植树造林，人工林面积持续增加，但原生林面积继续呈减少趋势。世界人均森林面积 0.62hm^2 ，

而我国人均森林面积 0.132hm²，不到世界平均水平的 1/4，居世界第 134 位。

8. 土地荒漠化 (land desertification)

1992 年联合国环境与发展大会对荒漠化的概念做了这样的定义：荒漠化是由于气候变化和人类不合理的经济活动等因素，使干旱、半干旱和具有干旱灾害的半湿润地区的土地发生了退化。当前世界荒漠化现象仍在加剧，荒漠化已经不再是一个单纯的生态环境问题，而演变为经济问题和社会问题，它给人类带来贫困和社会不稳定，荒漠化意味着人类将失去最基本的生存基础——有生产能力的土地。

9. 生物多样性锐减 (biodiversity decrease)

鸟类和哺乳动物现在的灭绝速度可能是它们在未受干扰的自然界的 100~1000 倍。大面积地砍伐森林，过度捕猎野生动物，工业化和城市化发展造成的污染，植被破坏，无控制的旅游，土壤、水、空气的污染，全球变暖等人类的各种活动是引起大量物种灭绝或濒临灭绝的原因。地球上动物、植物和微生物彼此之间相互作用以及与其所生存的自然环境间的相互作用，形成了地球丰富的生物多样性。这种多样性是生命支持最重要的组成部分，维持着自然生态系统的平衡，是人类生存和实现可持续发展必不可少的基础。生物多样性的减少，必将恶化人类生存环境，限制人类生存和发展机会的选择，甚至严重威胁人类的生存与发展。

10. 垃圾围城 (the garbage rounds city)

全球每年产生垃圾近 100 亿吨，而处理垃圾的能力远远赶不上垃圾增加的速度。垃圾除了占用大量土地外，还污染环境。危险垃圾，特别是有毒有害垃圾的处理问题（包括运送、存放），因其造成的危害更为严重、产生的危害更为深远，而成了当今世界各国面临的一个十分棘手的环境问题。

11. 海洋污染 (ocean pollution, marine pollution)

人类活动使近海区的氮和磷增加了 50%~200%，过量营养物质导致沿海藻类大量生长，致使赤潮频繁发生，破坏了红树林、珊瑚礁、海草，使近海鱼虾锐减，渔业损失惨重。污染最严重的海域有波罗的海、地中海、东京湾、纽约湾、墨西哥湾等。就国家来说，沿海污染严重的是日本、美国、西欧诸国和前苏联等国家。我国的渤海湾、黄海、东海和南海的污染状况也不容乐观。

海洋污染主要有原油泄漏污染、漂浮物污染、有机化学物污染及赤潮、黑潮等。污染主要来源如下：一是人类工业生产和生活排出的大量污染物倾倒到大海里；二是人类核试验、火山爆发等产生的核辐射尘核、火山灰尘等进入大海造成污染；三是人类从事海洋探测和进行采矿等产生海洋污染；四是日常海洋运输漏油造成污染；五是陆地表面大量的富营养物质通过雨水和河流进入大海造成污染等。另外，对海洋的过度开发也给海洋生态系统带来破坏（详见第七章第五节）。

12. 有毒化学品污染 (poisonous chemicals pollution)

由于化学品的广泛使用，全球的大气、水体、土壤乃至生物都受到了不同程度的污染、毒害，连南极的企鹅也未能幸免。自 20 世纪 50 年代以来，涉及有毒有害化学品的污染事件日益增多，如果不采取有效防治措施，将对人类和动植物造成严重的危害。

13. 危险废物越境转移 (hazardous waste's transfer by crossing the boundary illegally)

20 世纪 80 年代，危险废物大量向发展中国家转移，由于发展中国家缺乏处置技术和设施，在处置、监测和执法方面能力薄弱，缺乏危险废物管理实践，因此，危险废物的越境转移已经变成全球的环境问题，需要全球解决。为此，联合国环境规划署于 1989 年在瑞士巴塞尔召开了会议，并制定了《控制危险废物越境转移及其处置的巴塞尔公约》（简称《巴塞尔公约》）。

第三节 国内外环境保护发展历程

一、国外发达国家环境保护发展历程

世界各国，主要是发达国家的环境保护工作，大致经历了四个发展阶段。

1. 限制阶段

环境污染早在 19 世纪就已发生，如英国泰晤士河的污染、日本足尾铜矿的污染事件等。20 世纪 50 年代前后，相继发生了比利时马斯河谷烟雾、美国洛杉矶光化学烟雾、美国多诺拉烟雾、英国伦敦烟雾、日本水俣病和骨痛病、日本四日市大气污染和米糠油污染事件，即所谓的八大公害事件。由于当时尚未搞清这些公害事件产生的原因和机理，所以一般只是采取限制措施。如英国伦敦发生烟雾事件后，制定了法律，限制燃料使用量和污染物排放时间。

2. “三废”治理阶段

20 世纪 50 年代末至 60 年代初，发达国家环境污染问题日益突出，1962 年美国生物学家雷切尔·卡森所著《寂静的春天》(Silent Spring) 一书，用大量翔实的事实描述了有机氯农药对人类和生物界所造成的影响，唤醒了世人的环境意识，于是各发达国家相继成立了环境保护专门机构。但因当时的环境问题还只是被看成工业污染问题，所以环境保护工作主要就是治理污染源、减少排污量。因此，在法律措施上，颁布了一系列环境保护的法规和标准，加强了法制。在经济措施上，采取给工厂企业补助资金，帮助工厂企业建设净化设施；并通过征收排污费或实行“谁污染、谁治理”的原则，解决环境污染的治理费用问题。在这个阶段，投入了大量资金，尽管环境污染有所控制，环境质量有所改善，但

所采取的“末端治理”措施，从根本上来说是被动的，因而收效并不显著。

3. 综合防治阶段

1972年6月5日在瑞典首都斯德哥尔摩召开联合国“人类环境会议”，提出了“只有一个地球”的口号，并通过了《人类环境宣言》，提出将每年的6月5日定为“世界环境日”。这次会议成为人类环境保护工作的历史转折点，它加深了人们对环境问题的认识，扩大了环境问题的范围。宣言指出，环境问题不仅仅是环境污染问题，还应该包括生态破坏问题。另外，它冲破了以环境论环境的狭隘观点，把环境与人口、资源和发展联系在一起，从整体上来解决环境问题。环境污染的治理也从“末端治理”向“全过程控制”和“综合治理”发展。1973年1月，联合国大会决定成立联合国环境规划署，负责处理联合国在环境方面的日常事务工作。

4. 可持续发展阶段

20世纪80年代以来，人们开始重新审视传统思维和价值观念，认识到人类再也不能为所欲为地成为大自然的主人，人类必须与大自然和谐相处，成为大自然的朋友。

1987年由挪威首相布伦特兰夫人在《我们共同的未来》中提出了可持续发展(sustainable development)的思想。1992年6月在巴西里约热内卢召开了人类第二次环境大会，会议第一次把经济发展与环境保护结合起来认识，提出了可持续发展战略，标志着环境保护事业在全世界范围发生了历史性转变。

进入21世纪后，可持续发展的思想进一步深化。2002年8月在南非约翰内斯堡召开的可持续发展世界首脑会议，提出了经济增长、社会进步和环境保护是可持续发展的三大支柱，经济增长和社会进步必须同环境保护、生态平衡相协调。2012年6月在巴西里约热内卢召开了联合国可持续发展大会，会议发起可持续发展目标讨论，提出绿色经济是实现可持续发展的重要手段。至此，各国已达成共识：人类社会要生存下去，必须彻底改变靠无限制地消耗自然资源的同时又破坏生态环境而维持发展的传统生产方式，人类必须走经济效益、社会效益和环境效益融洽和谐的可持续发展道路。

二、中国环境保护发展历程

新中国成立以来，我国的环境保护事业经历了从无到有、从小到大，先发展经济后环保、先污染后治理，到经济与环保同步发展，从科学发展观出发，走可持续发展道路，建设资源节约型、环境友好型社会的历程。

1. 萌芽阶段（1949—1973年）

新中国成立初期，由于当时人口相对较少，生产规模不大，所产生的环境问题大多是局部性的生态破坏和环境污染。经济建设与环境保护之间的矛盾尚不突出。

1972年6月，联合国在瑞典首都斯德哥尔摩召开了第一次人类环境会议。根据周恩来

总理的指示，我国政府派代表团参加了会议。通过这次会议，我国高层的决策者开始认识到中国也同样存在着严重的环境问题，需要认真对待。

2. 起步阶段（1973—1983年）

1973年8月，国务院召开第一次全国环境保护会议，审议通过了“全面规划、合理布局、综合利用、化害为利、依靠群众、大家动手、保护环境、造福人民”的32字环境保护工作方针和我国第一个环境保护文件——《关于保护和改善环境的若干规定》。至此，我国环境保护事业开始起步。

1974年10月，国务院环境保护领导小组正式成立。之后，各省、自治区、直辖市和国务院有关部门也陆续建立起环境管理机构和环保科研、监测机构，在全国逐步开展了以“三废”治理和综合利用为主要内容的污染防治工作。在此阶段我国颁布了第一个环境标准——《工业“三废”排放试行标准》，标志着中国以治理“三废”和综合利用为特色的污染防治进入新的阶段，并开始实行“三同时”、污染源限期治理等管理制度。

1978年2月，五届人大一次会议通过的《中华人民共和国宪法》规定：“国家保护环境和自然资源，防治污染和其他公害。”这是新中国历史上第一次在宪法中对环境保护做出明确规定，为我国环境法制建设和环境保护事业的开展奠定了坚实的基础。同年12月，十一届三中全会胜利召开，强调指出：我们绝不能走先建设、后治理的弯路，我们要在建设的同时就解决环境污染的问题，这也是第一次以党中央的名义对环境保护工作做出指示。

十一届三中全会以后，党和国家对环境保护工作给予了高度重视，明确提出保护环境是社会主义现代化建设的重要组成部分。1979年9月，通过新中国的第一部环境保护基本法——《中华人民共和国环境保护法（试行）》，我国的环境保护工作开始走上法制化轨道。

3. 发展阶段（1983—1995年）

1983年12月，国务院召开第二次全国环境保护会议，明确提出：保护环境是我国一项基本国策；制定了我国环境保护事业的战略方针——“经济建设、城乡建设、环境建设同步规划、同步实施、同步发展”（“三同步”），实现“经济效益、环境效益、社会效益的统一”（“三统一”）。这次会议在我国环境保护发展史上具有重大意义，标志着中国环境保护工作进入发展阶段。

1988年设立国务院直属机构——国家环境保护局。地方政府也陆续成立环境保护机构。1989年4月，国务院召开了第三次环境保护会议，推出了“三大政策”和“八项制度”。三大政策是：“预防为主、防治结合、综合治理”，这是环境保护的基本指导方针；“谁污染谁治理”，明确环境治理的责任和原则；“强化环境管理”，强调法规和政府的监督作用。八项制度是：“三同时”制度、环境影响评价制度、排污收费制度、城市环境综合整治定量考核制度、污染限期治理制度、排污申请登记和许可制度、环境目标责任制度和

污染集中控制制度。

这三大政策和八项制度，把实施基本国策和同步发展方针具体化了，从而使我国的环境管理由一般号召和靠行政推动的阶段，进入法制化、制度化的新阶段，是环境保护特别是环境管理一个重大的、具有根本意义的转变。

1992年联合国环境与发展大会之后，我国在世界上率先提出了《中国环境与发展十大对策》，第一次明确提出转变传统发展模式，走可持续发展道路。1994年我国又制定了《中国21世纪议程》和《中国环境保护行动计划》等纲领性文件，可持续发展战略成为我国经济和社会发展的基本指导思想。

1993年10月召开了全国第二次工业污染防治工作会议，提出了工业污染防治必须实行清洁生产，实行“三个转变”，即由末端治理向生产全过程控制转变，由浓度控制向浓度与总量控制相结合转变，由分散治理向分散与集中控制相结合转变。这标志我国工业污染防治工作指导方针发生了新的转变。

4. 深化阶段（1995—2012年）

进入20世纪90年代后，国务院提出：由污染防治为主转向污染防治和生态保护并重；由末端治理转向源头和全过程控制，实行清洁生产，推动循环经济；由分散的点源治理转向区域流域环境综合整治和依靠产业结构调整；由浓度控制转向浓度与总量控制相结合，开始集中治理流域性、区域性环境污染。

1996年7月，国务院召开第四次全国环境保护会议，发布了《国务院关于加强环境保护若干问题的决定》，大力推进“一控双达标”（控制主要污染物排放总量、工业污染源达标和重点城市的环境质量按功能区达标）工作，全面开展“三河”（淮河、海河、辽河）和“三湖”（太湖、滇池、巢湖）水污染防治、“两控区”（酸雨污染控制区、二氧化硫污染控制区）大气污染防治、“一市”（北京市）污染防治、“一海”（渤海）污染防治（简称“33211”工程）。启动了退耕还林、退耕还草、保护天然林等一系列生态保护重大工程。

1997—1999年，中央连续3年就人口、环境和资源问题召开座谈会，党和国家领导人直接听取环保工作汇报，并要求：建立和完善环境与发展综合决策、统一监管和分工负责、环保投入、公众参与四项制度，把环保工作纳入制度化、法制化的轨道；各级领导干部要注意算大账，对环境保护工作要长期不懈地抓紧抓好。

2002—2012年，党的十六大以来，党中央、国务院提出树立和落实科学发展观、构建社会主义和谐社会、建设资源节约型环境友好型社会、让江河湖泊休养生息、推进环境保护历史性转变、环境保护是重大民生问题、探索环境保护新路等新思想和新举措。2002年、2006年和2011年国务院先后召开第五次、第六次和第七次全国环境保护大会，做出一系列新的重大决策部署。把主要污染物减排作为经济社会发展的约束性指标，完善环境法制和经济政策，强化重点流域区域污染防治，提高环境执法监管能力，积极开展国际环境交流与合作。在2002年的第五次全国环境保护会议上，部署“十五”期间的环境保护

工作，并强调指出：“要继续搞好环境警示教育，把公众和新闻媒体参与环境监督作为加强环保工作的重要手段。对造成环境污染、破坏生态环境的违法行为，要公开曝光，并依法严惩。”

第六次全国环境保护大会的主题是：以邓小平理论、“三个代表”重要思想和科学发展观为指导，全面落实科学发展观，坚持保护环境的基本国策，深入实施可持续发展战略；坚持预防为主、综合治理，全面推进、重点突破，着力解决危害人民群众健康的突出环境问题；坚持创新体制机制，依靠科技进步，强化环境法治，发挥社会各方面的积极性。经过长期不懈努力，使生态环境得到改善，资源利用效率显著提高，可持续发展能力不断增强，人与自然和谐相处，建设环境友好型社会。

5. 生态文明建设阶段（2012年至今）

2012年11月召开的“十八大”将生态文明建设纳入中国特色社会主义事业总体布局，即“五位一体”（经济建设、政治建设、文化建设、社会建设、生态文明建设）的总体布局，把生态文明建设和环境保护摆上更加重要的战略位置，习近平总书记对生态文明建设和环境保护提出一系列新理念、新思想、新战略，涵盖重大理念、方针原则、目标任务、重点举措、制度保障等诸多领域和方面，指明了实现发展和保护内在统一、相互促进和协调共生的方法论。党的十八届五中全会强调牢固树立并切实贯彻创新、协调、绿色、开放、共享五大发展理念，将生态环境质量总体改善列为全面建成小康社会目标。

在这期间国务院先后确立了“大气十条”（2013年9月）、“水十条”（2015年4月），“土十条”（2016年5月）。中央还相继出台了一系列重要文件和法律法规，完成了重大、系统、全面的制度构架，绘就了当前和今后一个时期生态文明建设的顶层设计图，具有重要的引领和指导作用。

生态文明是人类为保护和建设美好生态环境而取得的物质成果、精神成果和制度成果的总和，是人与自然、环境与经济、人与社会和谐共生的社会形态。环境保护是生态文明建设的主阵地和根本措施，环境保护取得的任何成效、任何突破，都是对生态文明建设的积极贡献，直接决定着生态文明建设的进程。“十八大”做出的具有里程碑意义的科学论断和战略抉择，标志着我们党对中国特色社会主义规律认识的进一步深化，昭示着要从建设生态文明的战略高度来认识和解决我国环境问题。

第二章 生态学及生态环境

第一节 生态系统基本概念

一、生态学及生态系统的概念

生态学（ecology）是研究生命系统和环境系统之间相互作用的机理、规律的科学。生态学的英文名称是 ecology，由两个希腊词根构成：likos（房子）、logos（科学）。1869年，海克尔首先提出生态学的概念。1935年坦斯勒提出“生态系统”概念。1942年林德曼提出食物链和金字塔营养结构（进入任何一个营养级的物质和能量只有一部分转移到次一级生物，即十分之一定律），确立了生态系统物质循环和能量流动理论，为现代生态学奠定了基础。

生态系统（ecosystem）就是在一定空间中共同栖居着的所有生物（即生物群落）与其环境之间由于不断进行物质循环和能量流动而形成的统一整体。地球上的森林、草原、荒漠、海洋、湖泊、河流等，不仅形貌有区别，生物组成也各有其特点，并且其中生物和非生物构成了一个相互作用、物质不断循环、能量不停流动的生态系统。故生态系统是指在一定的时间和空间内，生物成分和非生物成分之间通过不断物质循环、能量流动和信息联系而相互作用、相互依存构成的统一整体，是具有一定结构和功能的单位，具有自动调节机制。在异度空间的各种生物的总和则称为生物群落。所以，生态系统又可概括为生物群落与其生存环境之间构成的综合体。或者说，生态系统就是生命系统与环境系统在特定空间的组合。

学者在应用生态系统概念时，对其范围和大小并没有严格的限制，小至动物有机体内消化道中的微生物系统，大至各大洲的森林、荒漠等生物群落，甚至整个地球上的生物圈或生态圈，其范围和边界随研究问题的特征而定。例如，池塘的能量流动、核降尘、杀虫剂残留、酸雨、全球气候变化对生态系统的影响等，其空间尺度的变化很大，相差若干数量级。同样研究的时间尺度也很不一致。目前，人类所生活的生物圈内有无数大小不同的生态系统。池塘、河流、草原、森林等都是生态系统。城市、农村、矿山、工厂等广义上也是一种人工的生态系统。因此，整个生物圈便是一个最大的生态系统，生物圈也可以称



为生态圈。

二、生态系统的组成、结构和类型

(一) 生态系统的组成

任何生态系统都是由有机体及其生存环境组成的。组成生态系统的生物种类很多，按生态系统的功能不同及获得能量方式不同，其分类方法各异。不过，一般可根据生态系统具有相同或相似的组成、结构、功能特点来划分。各种生态系统无论大小、复杂程度如何不同，其组成成分均可分为两个部分、四个基本成分，两个部分是生物成分和非生物成分，四个基本成分是生产者、消费者、分解者和非生物成分。

1. 生物成分

根据各生物成分在生态系统中对物质循环和能量转化所起的作用以及它们取得营养方式的不同，又将其细分为生产者、消费者和分解者三大功能类群。

(1) 生产者 (producer) 主要是绿色植物和化能合成细菌等，它们具有固定太阳能进行光合作用的功能，能把从环境中摄取的无机物质合成为有机物质——碳水化合物、脂肪和蛋白质等，同时将吸收的太阳能转化为生物化学能，储藏在有机物中。这种首次将能量和物质输入生态系统的同化过程称为初级生产，这类以简单无机物为原料制造有机物的自养者称为初级生产者，在生态系统的构成中起主导作用，直接影响到生态系统的存在与发展。

(2) 消费者 (consumers) 是指除了微生物以外的异养生物，主要指依赖初级生产者或其他生物为生的各种动物。根据其食性的不同，又分为草食动物、肉食动物、寄生动物、腐生动物和杂食动物五种类型。

(3) 分解者 (decomposers) 主要是指以分解动物残体为生的异养生物，包括真菌、细菌、放线菌，也包括一些原生动物和腐食动物，如甲虫、蠕虫、白蚂蚁和某些软体动物。分解者又称还原者，能使构成有机成分的元素和储备的能量通过分解作用又释放归还到周围环境中去，在物质循环、废物消除和土壤肥力形成中发挥巨大的作用。

消费者和分解者都依赖初级生产者提供的能量和养分通过代谢作用来构成自身，其生物量形成的生产称为次级生产，异养生物统称次级生产者。

2. 非生物成分 (自然环境)

(1) 太阳辐射是指来自太阳的直射辐射和散射辐射，是生态系统的主要能源。太阳辐射能通过自养生物的光合作用被转化为有机物中的化学潜能。同时太阳辐射也为生态系统中的生物提供生存所需的温热条件。

(2) 无机物质 生态系统环境中的无机物质，一部分指大气中的氧气、二氧化碳、氮气、水及其他物质；另一部分指土壤中的氮、磷、钾、钙、硫、镁等元素的化合物及水。

(3) 有机物质 生态系统环境中的有机物质，主要是来源于生物残体、排泄物及植物根系分泌物。它们是连接生物与非生物部分的物质，如蛋白质、糖类、脂类和腐殖质等。

(4) 土壤 土壤作为一个生态系统的特殊环境组分，不仅是无机物和有机物的储藏库，同时也是支持陆生植物最重要的基质和众多微生物、动物的栖息场所。

(二) 生态系统的结构

生态系统 (ecosystem) 是由生物组分与环境组分组合而成的有序结构系统。所谓生态系统结构是指生态系统中组成成分及其在时间、空间上的分布和各组分间的能量、物质、信息流的方式与特点。具体来说，生态系统的结构包括三个方面，即物种结构、时空结构和营养结构，这三个方面是相互联系、相互渗透和不可分割的。

1. 物种结构 (species structure)

又称组分结构，是指生态系统中的生物组分由哪些生物种群所组成，以及它们之间的量比关系。生物种群是构成生态系统的基本单元，不同的物种（或类群）以及它们之间不同的量比关系，构成了生态系统的基本特征。如一个森林生态系统的物种结构中，有林木、灌木、草本植物，还有各种动物、微生物，各自占一定组分比例，并都有其相对的位置，且保持相对平衡。

2. 时空结构 (temporal structure)

生态系统中各生物种群在空间上的配置和在时间上的分布，构成了生态系统形态结构上的特征，故又称形态结构。大多数自然生态系统的形态结构都具有水平空间上的镶嵌性、垂直空间上的成层性和时间分布上的发展演替特征。又如一个森林生态系统的物种结构中，从山顶到山脚分布的植被有草本、林木、灌木，岩石背面有苔藓，地下有根系、根际微生物；还有动物分布，山上有老鹰，林中有鸟类，地上有野兔、野猪，地下有昆虫等，组成不同的形态结构。

3. 营养结构 (nutrition structure)

生态系统中由生产者、消费者、分解者三大功能类群以食物营养关系所组成的食物链、食物网是生态系统的营养结构。它是生态系统中物质循环、能量流动和信息传递的主要路径。如草原生态系统结构中各种草本绿色植物是生产者；兔、羊以草为生，为第一级消费者，鹰、狼又以兔、羊为生，为第二级消费者，狮、虎为第三级消费者；这些动植物死亡后都被微生物分解，故微生物为分解者。这种相互为食的循环过程称为食物链，该类群以食物营养关系所组成的食物链或食物网就是生态系统的营养结构。

系统结构是系统功能的基础。只有组建合理的生态系统结构，才能获得较高的系统整体功能。反过来，生态系统功能的高低可以作为检验系统结构合理与否的尺度。

(三) 生态系统的类型

地球上全部生物及其生活区域称为生物圈 (biosphere)。一般指从大气圈到水圈约20km的厚度范围，其中包含了边界大小不同、种类各式各样的生态系统。为了认识和研究上的方便，人们常将生态系统划分为不同的类型。

1. 根据环境特性划分的生态系统

(1) 海洋生态系统 这是生物圈内最大、层次最厚的生态系统。全球海洋面积为3.6亿平方千米，占地球表面的70%，平均深度为3750m。浮游植物与藻类是海洋生态系统中的生产者，各种鱼类为消费者，微生物既存在于水中，也存在于海岸沉积物中。

(2) 森林生态系统 属于陆地生态系统中最大的亚系统，其现存生物量最大，为100—400t/hm²。据统计，全球森林生态系统固定的能量占陆地上固定能量的68%左右。森林中有着极其丰富的物种资源。

(3) 草原生态系统 这是陆地生态系统中的又一亚系统。世界上草原面积约30亿公顷，占陆地面积的1/4，多分布在年降水量250~450mm的干旱、半干旱地区。该系统中的主要生产者是各种草类，消费者以草食动物为主，土壤中有大量微生物作为分解者。

(4) 淡水生态系统 该系统主要包括河流、溪流、水渠等流动水体亚系统和湖泊、池塘、沼泽、水库等静止水体亚系统。该系统的主要生产者包括藻类和水生高等植物，消费者为鱼类、浮游动物和昆虫类。

2. 根据人类干预程度划分的生态系统

(1) 自然生态系统 在该系统中无人类的干预，系统的边界不很明显，但生物种群丰富、结构多样，系统的稳定性靠自然调控机制进行维持，系统的生产力较低。

(2) 人工生态系统 是指人类为了达到某一目的而人为建造的生态系统，包括城镇生态系统、宇宙飞船生态系统、高级设施农业生态系统等。在该系统中，人类不断对其施加影响，通过增加系统输入，期望得到越来越多的系统输出。

(3) 半自然生态系统 该系统介于人工生态系统和自然生态系统之间，既有人类的干预，同时又受自然规律的支配，是人工驯化生态系统，其典型代表是农业生态系统。它有明显的边界，有大量的人工辅助能的投入，属于开放性系统，并具有较高的净生产力。

(四) 生态系统的功能

生态系统和任何“系统”一样，也具有多种功能，但其最基本的功能是生物生产、能量流动、物质循环和信息传递。生态系统的这些功能又相互联系，共同决定着生态系统的特征。

1. 生物生产 (biological production)

生态系统的生物生产包括初级生产和次级生产两个部分。初级生产是生产者（主要的

绿色植物和光合细菌等)把太阳能转变为化学能的过程,故称为植物生产。初级生产的能源来自于太阳辐射,是植物利用太阳能进行光合作用合成和储存太阳能为化学能的过程。因此除太阳辐射如光照强度等因素外,还取决于大气温度、大气中CO²含量、降水、土壤的养分供应等多种因素。

对于农业生态系统来说,人为地投人物质与能量,对植物性生产进行干预,可以改变初级生产的进程,提高初级生产产品数量。

次级生产是指消费者利用初级生产物质进行同化作用构造自身和繁衍后代的过程。它可以通过生命活动将初级生产产品转化为动物性产品,也称动物性生产。

2. 能量流动 (energy flow)

生态系统的能量流动是指能量通过其食物网络在系统内的传递消耗过程。这一过程始于初级生产,止于分解者对次级产物分解的完成,包括各种形式能量的转变、转移、利用与消耗。

(1) 食物链和食物网 生态系统中能量的流动,是借助于“食物链”和“食物网”来实现的。生态系统内部不同生物之间通过取食关系形成锁链式的单向联系,某种生物以另一种生物为食,而它又被第三种生物取食……这样多种生物彼此形成一个食与被食的关系,就是所谓的“食物链”(food chain)。我国流传久远的古老谚语“大鱼吃小鱼,小鱼吃虾米,虾米吃稀泥(实际是藻类)”就是对食物链概念的生动描述。

生态系统中很少只有一条食物链,而是多条食物链彼此交错连接成网状结构,称为食物网。一般来说,食物网越复杂,生态系统就越稳定,因为食物网中某个环节(物种)缺失时,其他相应环节能起补偿作用;相反,食物网越简单,则生态系统越不稳定。例如,某个生态系统中只有一条食物链林草—鹿—狼,如果鹿一旦消失,狼将被饿死,同样如果狼一旦消失,鹿失去天敌后会大量繁殖,超过林草承载力,草地和森林遭到破坏,鹿反被饿死,结果也会导致整个生态系统的破坏。

(2) 营养级与生态金字塔 生态系统中各个生物之间进行物质和能量传递的级次关系称为营养级(trophic level)。

绿色植物(包括藻类)、光合细菌利用太阳能制造有机物质,为初级生产者,属于第一营养级;直接以生产者为食物的动物是第一消费者,属于第二营养级;以第一消费者为食物的动物是第二消费者,属于第三营养级……依次类推。各营养级上的生物一般不止一种,凡在同一层次上的生物都属于同一营养级,例如在草原生态系统中,多种草本植物都属于第一营养级,初级消费者鼠类、小鸟、野兔等都属于第二营养级。又由于食物关系的复杂性,同一种生物也可能隶属于不同的营养级,例如黄鼬不仅吃田鼠,还吃鸟、蛙甚至少量植物,可隶属于第二、第三营养级。

生态金字塔是生态学研究中用以反映食物链各营养级之间生物个体数量、生物量和能量比例关系的一个图解模型。由于能量沿食物链传递过程中的衰减现象,使得每一个营养



级被净同化的部分都要大大少于前一营养级。因此，当营养级由低到高，其个体数目、生物现存量和所含能量一般呈现出基部宽、顶部尖的立体金字塔形，用数量表示的称为数量金字塔，用生物量表示的称为生物量金字塔，用能量表示的称为能量金字塔。在这三类生态金字塔中，能较好地反映营养级之间比例关系的是能量金字塔。其余两者在描述一些非常规形式食物链中个别营养级的比例关系时，就会出现生态金字塔的倒置现象或畸形现象。

3. 物质循环 (material recycling)

与能量流动不同，物质循环过程中同一种物质不仅在食物链多个营养级间被依次利用，也可以在同一营养级内被生物多次利用。

生态系统中各种有机物质归还到环境中后，被分解成可被生产者利用的形式而后再度被利用，周而复始地循环下去，这样一个过程称为生态系统的物质循环。

生态系统的物质循环可以在三个不同层次上进行。

①生物个体。在这个层次上生物个体吸取营养物质建造自身，经过代谢活动又把利用后的物质排出体外，最后生物死亡，生物体躯体经过分解者分解归还于环境。

②生态系统层次的物质循环。是指在局部区域内从自养生物物质合成开始形成初级产品后，经过各级消费者消费和分解者分解把营养物质归还至环境当中去，这也称生物学小循环或营养物质循环；生物学小循环的物质流动是按照生产者—消费者—分解者的顺序周而复始地流动的，其实质是有机物质合成和分解的过程。

③生物圈层次的循环。物质在整个生物圈内、陆地与海洋间进行循环，这又称地质学大循环或生物地球化学循环；生物地球化学循环实质上是生态系统间的物质输入与输出以及大气圈、水圈和土壤圈之间的物质交换过程。

水循环、碳循环、氮循环和硫循环则是生态系统物质循环的主体。

(1) 水循环 (water cycle) 水具有可溶性、可动性和比热容高等独特的理化性质，是生命体最重要的组成部分。有机体中的水分占 70% 以上，生长茂盛的水稻，一天约吸收 70t/hm² 的水，5% 用于原生质的合成和光合作用，95% 变成水汽蒸腾，所以它是绿色植物光合作用的原料，是生命活动的介质。同时水还是地质变化的动因，它引起侵蚀、异地沉积，起着溶解、运输养分和气体的作用。水与许多元素的循环密切相关，是流动、移动的载体。

水对生态系统最根本的意义，是起着能量传递和利用的作用。

①存在形式。地球上水分布广泛，自然界里的水以固态、液态、气态分布在地球表面（海洋、湖泊、河流、沼泽、冰川）和大气圈（大气水）、岩石圈（土壤水、地下水）、生物圈中，组成了一个相互联系着的水圈。据估计，自然界中水的总储量为 13.86 亿立方千米，其中海洋储水量占地球上总水量的 97.5%，淡水占地球上总水量的 2.53%，但这些淡水主要以南北两极冰盖、冰川、永久积雪的形式存在着，人类能够直接利用的数量却

很少。

②水循环过程。自然界中的水不是静止的，而是在太阳辐射和地球引力的作用下不断运动着的。水循环可分为大循环和小循环。大循环是水从海上蒸发，输入内陆上空遇冷凝结下降，降水在地表形成径流，最终流入大海，水汽不断从海洋向内陆输送，越深入内陆，水汽的含量就越少。海上和内陆，水循环是小循环，水汽在海上或陆上凝结降下，然后又被蒸发，在陆上降下与蒸发不断循环，其径流不流入大海，而流入内陆湖或形成内陆河。

水循环的驱动力是太阳能，在局部很不均匀，但从全球来看，蒸发和降水的调节是很好的。植被对水循环有很大的影响，可以影响降水、气候及水的再分配。

(2) 碳循环 (carbon cycle) 碳存在于生物有机体和无机体中。在生物体内，碳元素是构成生物体的主要元素，约占生物质量的 25%。在无机环境中，碳是以二氧化碳和碳酸盐的形式存在的。碳的储量及转化途径如下。

①地球上的碳总量约为 26×10^{15} t，其中有 99% 左右存在于岩石圈和化石燃料中，0.1% 左右存在于海洋中，0.0026% 左右存在于大气圈中。

②生物圈的碳循环途径。第一条途径：始于绿色植物并经陆生生物与大气之间的碳交换。碳元素是生物体的重要元素成分，它主要以蛋白质、脂肪、糖类和有机酸等形式存在于生物体内，植物体中碳的含量高达其干重的 45% 左右。绿色植物在一定光照、温度、土壤水分与养分供应等条件下进行光合作用，将大气中的 CO₂ 固定下来，使之变为有机物质，与此同时呼吸作用也在进行着，但呼吸作用消耗碳水化合物的数量要小于光合作用合成的数量，因此植物光合作用总的的趋势是碳水化合物的积累。

第二条途径：海洋、海洋生物与大气之间的交换。海水作为一种溶液具有溶解的能力，单位体积海水溶解 CO₂ 数量的多少既取决于大气中 CO₂ 气体的分压，也取决于该系统内的温度。大气中 CO₂ 浓度越高，大气及海水的温度越低，单位体积海水溶解 CO₂ 的能力就越强。近一个世纪来 CO₂ 在大气中的含量不断上升，从而引起了气温的上升，而气温的上升使海水温度也随之升高，海水溶解 CO₂ 的能力变小，使大量的 CO₂ 自海水中释放出来而进入大气，又加剧了大气的温室效应。另外，海洋中生存着大量的生物，无论是藻类及植物性浮游生物的光合作用，还是包括微生物在内的海洋生物的呼吸作用，都与海水中的 CO₂ 浓度直接相关，同时也与大气中的 CO₂ 保持着数量上的平衡关系。这种平衡作用的结果致使大气中 CO₂ 浓度表现为升高的趋势。

第三条途径：人类生产和生活对化石燃料的大量应用，直接影响到了自然界的碳循环。

在漫长的历史年代里，地球上的碳循环在大气圈、土壤圈、岩石圈、生物圈之间保持着一种平衡关系。由于人类活动的介入，使得 CO₂ 循环平衡关系被打破。随着化石燃料的使用，植被大量减少，大气中 CO₂ 浓度增加，给气候带来了长期、深远的影响，对生态系统的作用也是深刻的。特别是由于近代工业的发展，人类消耗大量化石燃料，使空气



中 CO_2 浓度不断增加，导致世界气候变化产生温室效应，对人类造成危害。这已经成为当今世界令人担忧的问题之一。

(3) 氮循环 (nitrogen cycle) 氮存在于生物体、大气和矿物质中。氮元素是构成生物体不可缺少的蛋白质、核酸和酶的组成元素，没有氮就没有蛋白质，没有蛋白质也就没有生命。地球上氮元素的数量十分巨大，分布在土壤、海洋、河流、湖泊和地下水中。大气中氮气 (N_2) 含量约为 78%，但大气中的氮一般是不能直接为生物所利用的，能够利用大气中氮的只有固氮菌、蓝藻以及与某些植物共生的根瘤菌等少数生物。因此，大气中的氮进入生物有机体主要有四种途径：一是生物固氮，豆科植物和其他少数高等植物能通过蓝藻和固氮菌固定大气中的氮；二是工业固氮，合成氨氮化肥，供给植物利用；三是岩浆固氮，火山爆发时喷射出的岩浆可固定一部分氮；四是大气固氮，雷雨天气发生的闪电现象通过电离作用可使大气中的氮氧化成硝酸盐，经雨水淋洗带入土壤。

因此，闪电能使大气中的氮进入土壤，估计每年经闪电而进入土壤的氮平均为 $8.9\text{kg}/\text{km}^2$ 。进入土壤中的有机态氮，在氨化和硝化细菌的作用下，转化为酰胺态、铵盐或硝酸盐，可被植物根系吸收，也可被其他微生物利用。动物排泄物、动物及植物死亡后的残体又可被微生物分解，其产物回到土壤当中，有机态氮被转变为硝态氮、铵态氮，可再一次为植物所利用，由此进入了下一循环。

人类的生产与生活活动对自然界氮循环产生了十分复杂的影响，其作用主要表现在：用化学合成的方法大量固定大气中的氮，作为化学肥料用于农业生产，使粮食产量大幅度增加；过量地使用化肥使施入土壤中的氮流失，造成水体污染，导致“富营养化”等现象的发生；大量燃烧化石燃料使氮氧化物进入大气，从而加剧了酸雨的危害和温室气体效应。

(4) 硫循环 (sulfur cycle) 硫元素是生物必需的大量营养元素之一，是蛋白质、酶、维生素 B1、蒜油、芥子油等物质的构成成分。硫因有氧化和还原两种形态存在而影响生物体内的氧化还原反应过程。硫是可变价态的元素，价态变化在 -2 价至 +6 价之间，可形成多种无机和有机硫化合物，并对环境的氧化还原电位和酸碱度带来影响。

自然界中硫的最大储存库在岩石圈，在沉积岩、变质岩和火成岩三类岩石中总含量达 $2.948 \times 10^{19}\text{t}$ 。硫在水圈中的储存量也较大，在海水中含 $1.348 \times 10^{18}\text{t}$ ，在极地冰帽、冰山和陆地冰川中含 $2.78 \times 10^{16}\text{t}$ ，但在地下水、地面水、土壤圈、大气圈中含量均较小。通过有机物分解释放 H_2S 气体或可溶硫酸盐、火山喷发等过程使硫变成可移动的简单化合物进入大气、水或土壤中。

土壤中微生物可将含硫有机物质分解为硫化氢，硫黄细菌和硫化细菌可将硫化氢进一步转变为单质硫或硫酸盐，许多兼性或厌气性微生物又可将硫酸盐转化为硫化氢。因此，在土壤和水体底质中，硫因氧化还原电位不同而呈现不同的化学价态。土壤和空气中硫酸盐、硫化氢和二氧化硫可被植物吸收，每年全球植物吸收硫总量约为 $1.5 \times 10^{18}\text{t}$ ，然后沿着食物链在生态系统中转移。陆地上可溶价态的硫酸盐通过雨水淋洗，每年由河流携入海

洋的硫总量达 1.32×10^{28} t。海水和海洋沉积物中积蓄着最大量对生物有效态硫，总量达 1.648×10^8 t。由于有机物燃烧、火山喷发和微生物氨化及反硫化作用等，也有少量硫以H₂S、SO₂和硫酸盐气溶胶状态存在于大气中。近来由于工业发展，化石燃料的燃烧增加，每年燃烧排入大气的SO₂量高达 1.47×10^8 t，影响了生物圈中硫的循环。

大气中的SO₂和H₂S经氧化作用形成硫酸根SO₄²⁻，随降水降落到陆地和海洋。SO₂和SO₄²⁻还可由于自然沉降或碰撞而被土壤和植物或海水所吸收。由陆地排入大气的SO₂和SO₄²⁻可迁移到海洋上空，沉降入海洋。同样，海浪飞溅出来的SO₄²⁻也可迁移沉降到陆地上。陆地岩石风化释放出的硫可经河流输送入海洋。水体中硫酸盐的还原是由各种硫酸盐还原菌进行反硫化过程完成的，在缺氧条件下，硫酸盐作为受氢体而转化为H₂S。

人类燃烧含硫矿物燃料和柴草，冶炼含硫矿石，释放出大量的SO₂，石油炼制释放的H₂S在大气中很快氧化为SO₂，这些活动使城市和工矿区的局部地区大气中SO₂浓度大为升高，对人和动植物有伤害作用。SO₂在大气中氧化成为SO₄²⁻是形成酸雨和降低能见度的主要原因。

但硫循环与碳循环是有区别的。首先要明确两个循环的概念、过程。

①硫循环。化石燃料的燃烧、火山的爆发和微生物的分解作用是SO₂的来源。在自然状态下，大气中的SO₂，一部分被绿色植物吸收；一部分则与大气中的水结合，形成H₂SO₄，随降水落人土壤或水体中，以硫酸盐的形式被植物的根系吸收，转变成蛋白质等有机物，进而被各级消费者所利用，动植物的遗体被微生物分解后，又能将硫元素释放到土壤或大气中，这样就形成一个完整的循环回路。

②碳循环。绿色植物通过光合作用，把大气中的二氧化碳和水合成为糖类等有机物。生产者合成的含碳有机物被各级消费者所利用。生产者和消费者在生命活动过程中，通过呼吸作用，又把二氧化碳释放到大气中。生产者和消费者的遗体被分解者所利用，分解后产生的二氧化碳也返回到大气中。另外，由古代动植物遗体变成的煤和石油等被人们开采出来后，通过燃烧把大量的二氧化碳排放到大气中，也加入生态系统的碳循环中。由此可见，碳在生物群落与无机环境之间的循环主要是以二氧化碳的形式进行的。大气中的二氧化碳能够随着大气环流在全球范围内运动，因此，碳循环具有全球性。

由此比较如下：首先是来源不同，SO₂来源于化石燃料的燃烧、火山爆发和微生物的分解作用，CO₂来源于煤和石油等燃烧及呼吸作用；其次是去路不同，CO₂主要被绿色植物吸收（被微生物吸收很少），SO₄²⁻部分被绿色植物吸收，一部分则与大气中的水结合，形成H₂SO₄。

总之，物质循环是生态系统存在的基础，如果没有物质循环，能量也就停止了流动，能量不再流动，生物的生命活动也就停止了；物质流与能量流紧密相连，共同维持着生态系统的生长发育与演化进程。

4. 信息传递 (information transmission)

除能量流动和物质循环外，生态系统中各生命体之间还存在着信息传递，习惯上人们将它称为信息流。

生态系统中包含着各种各样的信息，大致可以分为营养信息、化学信息、物理信息、行为信息四大类。

(1) 营养信息 (nutritional information) 通过营养交换的形式，把信息从一个个体传递给另一个个体，或从一个种群传递给另一个种群，这就是生态系统的营养信息传递。

食物链（网）本身就是一个营养信息传递系统。以由草本植物、鹤鹑、鼠和猫头鹰组成的食物链为例，当鹤鹑数量较多时，猫头鹰大量捕食鹤鹑，而捕食鼠类较少，当鹤鹑较少时，猫头鹰转向大量捕食鼠类，这样通过猫头鹰对鼠类、鹤鹑捕食的多少，向鼠类、鹤鹑传递了其他种群数量的信息。

(2) 化学信息 (chemical information) 生物代谢产生一些化学物质，起到传递信息、协调功能的作用，这一类信息称为化学信息。如许多猫科动物以尿液标识各自的领地以避免与栖居同一地区的对手相遇，狼用尿液标记活动路线。在植物的群落中，一种植物通过分泌某种化学物质能够影响另一种或几种植物的生长甚至生存，如作物中的洋葱与食用甜菜、马铃薯与菜豆、小麦与豌豆种在一起能相互促进，而胡桃树大量分泌胡桃醌对苹果有毒害作用。

(3) 物理信息 (physical information) 生态系统中以物理过程传递的信息称为物理信息，光、声、磁、电、颜色等都属此类。

如鸟鸣、兽吼可以传达惊慌、安全、恫吓、警告、厌恶、有无食物和要求配偶等各种信息，含羞草在强烈声音的刺激下会做出小叶合拢、叶柄下垂动作，昆虫可以根据花的颜色判断花蜜的有无，信鸽靠体内的电磁场与地球磁场的相互作用确定方向。

(4) 行为信息 (behavior information) 生态系统中许多动物和植物的异常表现或行为所传递的信息称为行为信息。如蜜蜂跳舞的不同形态和动作，可以表示蜜源的远近和方向；燕子在求偶时，雄燕会围绕着雌燕在空中做特殊飞行；丹顶鹤在求偶时，雌雄双双起舞。

生态系统中的信息传递不像物质流那样循环，也不像能量流那样是单向的，信息传递往往是双向的，有输入也有输出。信息传递对于生态系统内的物质循环、能量流动以及生物种群的分布等具有十分重要的作用，它使生态系统成为一个有机整体，经常处于协调状态。

因此，生态系统功能除上述之外，还有动态系统变化、自动调节功能，它们共同维持生态平衡。

第二节 生态平衡及其意义

一、生态平衡的概念

生态平衡（ecological balance）是指在一定时间内，生物与环境、生物与生物之间相互适应所维持着的一种协调状态。它表现为生态系统中生物组成、种群数量、食物链营养结构的协调状态，能量和物质的输入与输出基本相等，物质储存量恒定，信息传递畅通，生物群落与环境之间或各对应量之间各自保持一定的状态，达到正负相当、协调吻合。

二、生态平衡的破坏

（一）生态平衡破坏的标志

1. 结构的改变

表现在缺损一个或几个组分成分，使平衡失调，系统崩溃，如毁林、开荒等；也表现在某一组成成分发生变化，如生物群落结构的改变、非生物成分的组成和结构发生变化等。

2. 功能的衰退

主要表现在能量流动受阻，如生产者数量减少；也表现在物质循环的中断等。

（二）生态平衡破坏的因素

1. 自然因素

首先是灾难性的自然因素，如火山、地震和水旱灾害等，它们会急剧破坏生态平衡；其次是自然界本来存在的有害因素，例如母岩风化放出有害元素，或者土壤缺乏必要的元素。

2. 人为因素

主要是指人类活动造成的生态系统不平衡，如工业排放“三废”、滥砍滥伐、围湖造田、过度放牧等。

综上所述，人类既可以破坏生态平衡，又可以改造环境，为使生态系统在良性循环下达到稳定平衡，必须顺应自然规律，否则要受到自然的惩罚。



三、生态学及应用

(一) 生态学的一般规律

1. 相互依存和相互制约的规律

相互依存与相互制约规律，反映了生物间的协调关系，是构成生物群落的基础。生物间的这种协调关系，主要分为两类。

(1) 以食物相互联系与制约的协调关系 亦称“相生相克”规律。在生态系统中，每一生物种都占据一定的位置，具有特定的作用。即每一种生物在食物链或食物网中都占据一定的位置，并具有特定的作用。各生物种之间相互依赖、彼此制约、协同进化。被食者为捕食者提供生存条件，同时又为捕食者控制；反过来，捕食者又受制于被食者，彼此相生相克，使生物保持数量上的相对稳定，使整个体系成为协调的整体。当向一个生物群落（或生态系统）引进其他群落的生物种时，往往会由于该群落缺乏能控制它的生物种存在，使该种种群暴发起来，从而造成灾害。

(2) 普遍的依存与制约关系 亦称“物物相关”规律。有相同生理、生态特性的生物，占据与之相适宜的小生境，构成生物群落或生态系统。系统中同种生物、异种生物、不同群落或系统之间都存在相互依存、相互制约的关系，如地衣就是真菌和藻类的共生体，真菌吸收水分、无机盐供给藻类光合作用所需的原料，并包裹着藻类细胞使其不会干死；藻类进行光合作用，合成的有机质供给真菌利用。这种影响有些是直接的，有些是间接的，有些是立即表现出来的，有些需滞后一段时间才显现出来。因此，在自然开发、工程建设中必须了解自然界诸事物之间的相互关系，统筹兼顾，做出全面安排。

2. 物质循环转化与再生的规律

生态系统中，植物、动物、微生物和非生物成分之间能量在不断地流动，物质在不停地循环着。但是，通常在自然生态系统中，能量沿食物链转移时，每经过一个级位或层次，就有一大部分转化为热而逸散，无法再回收利用；物质与能量则不同，它在生态系统中可以反复地进行循环，实现多级利用；其中有些物质如重金属、农药等还会通过食物链在生物体内发生富集。因此要实现生态系统的良性平衡，必须尽力使物质多级利用和提高能量利用率。

3. 物质输入与输出动态平衡的规律

又称“协调稳定”规律。生物与环境之间的输入与输出，是相互对立的关系，对生物体进行输入时，环境必然进行输出，只有各部分协调的、物质的输入与输出总是相平衡的生态系统才是稳定的。当生物体的输入不足时，例如农田肥料不足，或虽然肥料（营养分）足够，但未能分解而不可利用，或施肥的时间不当而不能很好地利用，结果作物必然

生长不好，产量下降。另外，对环境系统而言，如果营养物质输入过多，环境自身吸收不了，打破了原来的输入与输出平衡，就会出现富营养化现象。

4. 相互适应与补偿的协同进化规律

生物与环境之间，存在着作用与反作用的过程。植物从环境吸收水和营养元素与环境的特点如土壤的性质、可溶性营养元素的量以及环境可以提供的水量等紧密相关。同时生物以其排泄物和尸体的方式把相当数量的水和营养元素归还给环境，最后获得协同进化的结果。生物与环境就是如此反复地相互适应与补偿。生物从无到有、从低级向高级发展，而环境也在演变。如果因为某种原因损害了生物与环境相互补偿与适应的关系，例如某种生物过度繁殖，则环境就会由于物质供应不足而造成其他生物因饥饿死亡。

5. 环境资源的有效极限规律

任何生态系统中作为生物赖以生存的各种环境资源，在质量、数量、空间、时间等方面，都有其一定的限度，不能无限制地供给，因而其生物生产力通常都有一个大致的上限。如放牧强度不应超过草场的允许承载量，采伐森林、捕鱼狩猎和采集药材时不应超过能使各种资源永续利用的产量。在生态环境保护中，一定要注意找限制生态平衡的因子。

(二) 生态学在环境保护中的应用

1. 树立生态学观点，管理环境和保护环境

环境问题的实质就是包括人类在内的生态学问题。对环境问题的解决，必须运用生态学的理论、方法和手段。人类的生存环境是一个完整的生态系统或若干个生态系统的组合。人类对环境的利用必须在注意遵循经济规律的同时，也注意遵循生态规律。

运用生态学观点管理和保护环境，必须把生态学的基本理论和基本观点渗透到工农业生产之中。

在现代化的工业建设中，为了高效率地利用资源与能源，有效地保护环境质量，人们提出了要用生态工艺代替传统工艺。生态工艺是指无废料生产工艺。无废料是相对而言，指不向环境排放对生物有毒有害的物质。这是对生态系统中能量流动与物质循环的模拟。

生态农业是以生态学理论为依据建立起来的一种理想的生产模式。它是一种农业生产形式，建立生态农业的目的是把无机物更多地转化为有机物，最大限度地提高能量流、物质流在生态系统中运转时的利用效率，实现高效生产，同时又能创建一个舒适而美好的生存环境。生态农业的重要意义就在于把经济规律与生态规律结合起来，使现在的生态失调得到扭转。

2. 环境质量的生物监测

所谓生物监测（biological monitoring）就是利用生物在各种污染环境下所发出的各种信息来判断环境污染状况的一种手段。它们不仅可以反映出环境中各种污染物的综合影

响，而且也能反映出环境污染的历史状况，这种反映可以弥补化学与仪器监测的不足。

(1) 利用生物对大气污染进行监测和评价 比较普遍的是利用植物叶片受污染后的伤害症状来进行。不同的污染物引起植物叶片的伤害症状是不同的，如二氧化硫可使叶脉间出现白色烟斑或坏死组织，而氟化物则可使叶缘或叶尖出现浅褐色或褐红色的坏死部分。利用这种受害症状可以判断污染物的种类，进行定性分析。同时也可根据受害程度的轻重、受害面积的大小，判断污染的程度，进行定量分析。还可以根据叶片中污染物的含量、叶片解剖构造的变化、生理机能的改变、叶片和新梢生长量等，来监测大气的污染发展状况。

(2) 水体污染可以利用水生生物进行监测和评价 采用的方法也很多，污水生物体系法就是被普遍采用的方法之一。由于各种生物对污染的忍耐力是不同的，在污染程度不同的水体中，就会出现某些不同的生物种群，构成不同的生物体系，根据各个水域中生物体系的组成，就可以判断水体的污染程度。

3. 为环境容量和环境标准的制定提供依据

要切实有效地加强环境保护工作，对已经污染的环境进行治理，就必须制定出国家和地区的环境标准和环境法规。环境标准的制定又必须以环境容量为主要依据。环境容量 (environmental capacity) 指的是环境对污染物的最大允许量，也就是保证人体健康和维护生态平衡的环境质量所允许的污染物浓度。为了确定允许的污染物浓度，要得到综合研究污染物浓度与人体健康和生态系统关系的资料，并进行定量的相关分析。