

前 言

科技进步推动着社会经济快速发展，但有时伴之而来的环境问题也成为当今人类社会所面临的主要障碍之一，其对各国经济、文化、科技、政治等多个方面有着深远的影响，也严重威胁着人类健康和生态安全。什么是环境？环境问题有哪些？它是如何产生的？环境污染防治策略有哪些？如何实现环境可持续发展？这些问题是每位关注环境健康的人员所需要了解的，也是环境科学学科体系建设的基础内容。

环境科学作为一门综合性和交叉性较强的学科，是为解决各类环境问题而逐渐形成和发展起来的。鉴于环境问题的全球性影响，随着可持续发展理论的提出，环境科学理论与技术在人类发展进程中的重要作用也日益凸显。经过几十年的发展，国内外已逐渐形成了较为完善的环境科学学科体系，近些年来新型环境问题不断涌现，研究手段日趋先进，产生了一系列环境科学新理论与新技术成果，环境科学学科体系也不断完善。这本《环境学基础》教材在吸收近几十年来环境科学研究成果的基础上，围绕不同环境要素，以环境问题为导向，从土壤环境，水体环境，大气环境，物理环境，固体废物与环境，人口、资源与环境，环境管理与可持续发展等方面，多层次、多角度地向读者展示环境基础性概念、环境问题、问题由来及其管控策略。本书试图使读者了解环境学基本原理以及当前环境现状，启发读者思考如何解决环境问题。全书内容分为多个便于理解的主题，比较全面地覆盖了环境学基础知识点，为读者迅速了解环境学相关专业知识、深入学习后续专业课程奠定基础。

本书由高彦征主持编写，负责设计、统稿和总撰，并具体负责编写第1章绪论和第2章土壤环境；强虹负责编写第3章水体环境和第5章物理环境；林杉负责编写第4章大气环境和第7章人口、资源与环境；郑冠宇负责编写第6章固体废物与环境；凌婉婷负责编写第8章环境管理与可持续发展。另外，陈旭文、王建、胡小婕分别参与了第1章、第2章和第8章内容的撰写，还有其他多位老师参与了本书内容的资料收集、编写、审阅和校稿工作，在此深表谢意。

由于时间及编者水平和经验有限，书中难免存在疏漏和不足之处，敬请专家、学者及广大读者批评指正。

编 者

2024年10月

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 环境及组成	1
1.1.1 环境的概念	1
1.1.2 环境的功能与特性	1
1.1.3 环境的组成	3
1.1.4 环境要素及其特性	4
1.2 环境问题产生及发展	5
1.2.1 环境承载力	5
1.2.2 环境问题的概念及分类	5
1.2.3 环境问题的发展历程	6
1.3 全球环境问题	8
1.3.1 全球气候变化	8
1.3.2 臭氧层破坏	12
1.3.3 酸雨	15
1.3.4 危险废物越境转移	18
1.3.5 生态退化	20
1.3.6 海洋污染	24
1.3.7 生物污染	26
1.3.8 有毒有害化学品污染	27
1.4 环境学及其学科体系	31
1.4.1 环境学研究对象及内容	31
1.4.2 环境学研究目标及任务	32
1.4.3 环境学学科体系	33
问题与习题	37
主要参考文献	38
第 2 章 土壤环境	39
2.1 土壤环境概述	39
2.1.1 土壤的组成和性质	39
2.1.2 土壤的结构和功能	49
2.1.3 土壤环境背景值及环境容量	53
2.1.4 土壤环境的自净作用	53
2.1.5 土壤环境质量标准	54

2.2	土壤退化及改良	57
2.2.1	土壤退化的概念、分类及现状	57
2.2.2	土壤退化的成因及危害	60
2.2.3	退化土壤改良	62
2.3	土壤污染及危害	64
2.3.1	土壤污染的概念及特点	65
2.3.2	土壤污染的来源	66
2.3.3	土壤无机污染物及其危害	67
2.3.4	土壤有机污染物及其危害	74
2.3.5	土壤生物污染物及其危害	80
2.4	土壤中污染物的迁移转化	83
2.4.1	重金属在土壤中的迁移转化	83
2.4.2	有机污染物在土壤中的迁移转化	86
2.4.3	生物污染物在土壤中的增殖和扩散	88
2.5	土壤污染防治	89
2.5.1	土壤污染防治法规与政策	89
2.5.2	重金属污染土壤控制与修复技术	93
2.5.3	有机污染土壤控制与修复技术	98
2.5.4	生物污染土壤控制与修复技术	103
2.5.5	复合污染土壤控制与修复技术	104
	问题与习题	106
	主要参考文献	107
第3章	水体环境	109
3.1	水体环境概述	109
3.1.1	水资源	109
3.1.2	水循环	111
3.1.3	水危机	112
3.1.4	水体与天然水的组成	113
3.1.5	水质指标	113
3.1.6	水质标准	115
3.2	水体污染与危害	121
3.2.1	水体污染概念	121
3.2.2	水体污染源	121
3.2.3	水体污染物及其危害	123
3.3	水体中污染物迁移转化	126
3.3.1	水体自净与水环境容量	126
3.3.2	污染物在水体中的迁移与转化	128
3.4	水体污染防治	133

3.4.1 水环境总量控制	133
3.4.2 水体污染控制对策	134
3.4.3 污水控制技术	135
问题与习题	156
主要参考文献	157
第4章 大气环境	158
4.1 大气环境概述	158
4.1.1 大气层的结构	158
4.1.2 大气的组成	161
4.1.3 大气环境标准	162
4.2 大气污染及危害	165
4.2.1 大气污染及其类型	165
4.2.2 大气污染源	168
4.2.3 大气污染物及其危害	170
4.3 大气中污染物迁移转化	174
4.3.1 大气污染物的迁移和扩散	174
4.3.2 大气污染物的转化	180
4.4 大气污染防治	187
4.4.1 大气污染防治基本原则	187
4.4.2 大气污染防治对策	187
4.4.3 大气污染防治技术	190
4.5 室内空气污染与防治	201
4.5.1 室内空气污染概况	201
4.5.2 室内空气污染的防治	205
问题与习题	206
主要参考文献	207
第5章 物理环境	209
5.1 噪声污染及防控	209
5.1.1 环境噪声概述	209
5.1.2 噪声危害	214
5.1.3 噪声标准	215
5.1.4 噪声控制技术	217
5.2 放射性污染及防控	218
5.2.1 放射性污染概述	218
5.2.2 放射性污染的来源	218
5.2.3 放射性的度量单位	219
5.2.4 放射性对人体的危害	220
5.2.5 放射性污染物的管理与处置	221

5.3	光污染及防控	222
5.3.1	光污染分类及危害	222
5.3.2	光污染防控	223
5.4	电磁辐射污染及防控	223
5.4.1	电磁辐射的来源	224
5.4.2	电磁辐射的危害	225
5.4.3	电磁辐射污染的防控	225
5.5	热污染及防控	226
5.5.1	热污染的来源	226
5.5.2	热污染的危害	226
5.5.3	热污染的控制	226
	问题与习题	227
	主要参考文献	227
第6章	固体废物与环境	229
6.1	固体废物的来源与分类	229
6.1.1	固体废物的来源	229
6.1.2	固体废物的分类	230
6.1.3	我国固体废物的产生情况	232
6.2	固体废物的污染控制及管理	232
6.2.1	固体废物的污染特征	232
6.2.2	固体废物的污染危害	233
6.2.3	固体废物的污染控制	235
6.2.4	固体废物的管理	236
6.3	固体废物处理与处置	238
6.3.1	一般固体废物的处理处置技术	238
6.3.2	危险废物的处理处置技术	245
6.4	典型固体废物资源化利用技术	248
6.4.1	典型城镇有机固体废物的资源化利用技术	248
6.4.2	典型农业有机固体废物的资源化利用技术	252
6.4.3	工业固体废物的资源化利用技术	255
	问题与习题	257
	主要参考文献	257
第7章	人口、资源与环境	259
7.1	人口与环境	259
7.1.1	世界和我国人口概况	260
7.1.2	人口与环境的关系	267
7.2	能源与环境	271
7.2.1	能源概述	271

7.2.2 能源利用对环境的影响	278
7.2.3 新能源开发与利用	280
7.3 矿产资源与环境	285
7.3.1 矿产资源概述	285
7.3.2 矿产资源利用对环境的影响	286
7.3.3 矿产资源的利用与保护	287
7.4 生物资源与环境	288
7.4.1 生物多样性与保护	288
7.4.2 生物资源与环境保护	292
问题与习题	297
主要参考文献	297
第 8 章 环境管理与可持续发展	299
8.1 环境管理	299
8.1.1 环境管理概述	299
8.1.2 环境管理的基本职能	301
8.1.3 环境管理的基本手段	302
8.2 环境标准与法规体系	306
8.2.1 环境标准内涵及作用	306
8.2.2 我国环境标准体系	307
8.2.3 我国环境法概述	308
8.3 环境规划	313
8.3.1 环境规划内涵及作用	313
8.3.2 环境规划的类型	315
8.3.3 环境规划的原则	317
8.3.4 环境规划的实施	318
8.4 环境风险及评价	326
8.4.1 环境风险	326
8.4.2 环境质量评价概述	327
8.4.3 环境质量现状评价	328
8.4.4 环境影响评价	330
8.5 可持续发展	331
8.5.1 可持续发展的概念及原则	332
8.5.2 可持续发展的理论及指标体系	335
8.5.3 经济活动与可持续发展	337
8.5.4 中国可持续发展战略	341
问题与习题	344
主要参考文献	345

第1章 绪 论

社会、经济与环境的可持续发展是当今世界各国面临的重大问题。随着生产力水平不断提高，物质财富空前繁荣，人类进入了一个发达的文明社会。但是，工业的迅猛发展和经济的繁荣有时是以牺牲环境为代价的，尤其是对自然资源不合理的开发利用，造成了全球性的环境污染和生态破坏。全球气候变暖、臭氧层破坏、酸雨、危险废物越境转移、生态退化、海洋污染、生物污染、有毒有害化学品污染加剧等，使人类的生存环境受到严重威胁。

环境问题的产生有自然因素，但主要还是由人类活动造成的。环境学的出现，标志着人类开始理性地关注与之休戚相关的自然环境；必须保护好自己的生存环境，才能创造一个更加美好的未来，这是人类共同的责任。为此，必须提高环境保护意识，以可持续发展理念，增强保护和改善环境的责任感和使命感，深刻理解人类发展与环境保护的辩证关系，明确人类经济活动和社会活动对生态环境的影响，掌握其变化规律，提高对影响环境质量变化因子的识别能力，以系统化和全球化的战略方针保护环境，促进社会、经济和环境的协调可持续发展。

1.1 环境及组成

1.1.1 环境的概念

在不同学科中，“环境”一词的科学定义不尽相同，其差异源于对主体的界定。从环境科学的角度看，“环境”的定义是：以人类为主体的外部世界的总体，即人类生存与繁衍所必需的环境或物质条件的综合体（鞠美庭等, 2010）。

还有一类为适应某些方面工作的需要而给“环境”下的定义，它们大多出现在世界各国颁布的环境保护法规中。例如，《中华人民共和国环境保护法》中指出：“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、湿地、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”。

1.1.2 环境的功能与特性

1. 环境的功能

对人类而言，环境的功能是环境要素及其构成的环境状态对人类生产和生活所承担的职能和作用，环境的功能十分广泛。

1) 环境的资源功能

各类环境要素都是人类生产生活所需要的资源，因此，环境的功能首先是为人类生

存和繁衍提供必需的资源。例如,岩石圈为人类提供大量的矿产资源,土壤圈为人类提供生产粮食作物所需要的养分和能量,生物圈为人类提供食物和大量的生产资料等。

2) 环境的调节功能

环境系统是一个复杂且具有时、空、量、序特征的动态体系和开放体系。系统内外存在着物质和能量的变化与交换。系统外部的各种物质和能量通过外部作用进入系统内部,这个过程称为输入;系统内部也对外界产生一定的作用,通过系统内部作用,一些物质和能量排放到系统外部,这个过程称为输出。在一定的时空尺度内,环境在自然状态下通过调节作用,使系统的输入等于输出,达到一种平衡,称为环境平衡或生态平衡。当外部干扰影响了环境系统的输入和输出时就易造成环境系统的失衡。

3) 环境的服务功能

自然资源和自然生态环境都是生命的重要支持系统,它们除了为人类提供大量的生产和生活资料外,还有许多生态服务功能,如森林调节气候、净化空气、为人类提供休闲娱乐场所等功效和作用,生态系统提供的这些功能是人类自身所不能替代的。美国的“生物圈2号”科学实验证实,在人类现有的科学技术水平下,还无法模拟出一个供人类生存和繁衍的生态系统。

4) 环境的文化功能

地球的演化形成了今天壮丽的名山大川,优美的自然环境使人类在精神上和人格上得到了发展和升华,不同的自然环境塑造了不同的民族性格、习俗和文化。同时,自然环境和景观也是艺术家灵感的重要源泉。

2. 环境的特性

上面阐述的人类环境的四个基本功能是其特性的反映,环境的基本特性包括环境的整体性和区域性、环境的变动性和稳定性以及环境的资源性和价值性。

1) 环境的整体性和区域性

环境的整体性是指人与地球环境是一个整体,地球的任一部分或任一个系统,都是人类环境的组成部分,各组成部分之间紧密联系并相互制约。局部地区的环境污染或破坏,总会对其他地区造成一定的影响或危害。所以,从整体上看,人类生存的环境及环境保护是没有地区界线和国家界线的。

环境的区域性是指环境特性的区域差异。环境因地理位置的不同或空间范围的差异,会有不同的特性,如滨海环境与内陆环境、高原环境与盆地环境等都会明显地表现出不同的环境特性。环境的区域性不仅体现了环境在地理位置上的不同,还反映了区域社会、经济、文化和历史等的多样性。

2) 环境的变动性和稳定性

环境的变动性是指在自然或人类社会行为作用下,环境的内部结构和外在状态始终处于不断地变化中。人类社会的发展历史就是人类与自然界相互作用的历史,也是人类环境的结构和状态不断变化的历史。

环境的稳定性是相对于变动性而言的。所谓稳定性是指环境系统具有一定自我调节的特性,即在自然和人类行为的作用下环境的结构和状态所发生的变化不超过一定限度

时，环境可以借助自身的调节功能减轻这些变化所带来的影响。通常，环境的变动性和稳定性是相辅相成的，变动是绝对的，稳定是相对的。

3) 环境的资源性和价值性

环境的资源性是指环境具有资源价值。环境提供了人类生存所必需的物质和能量，离开了这些物质和能量，人类社会就不可能生存，更谈不上发展；如果环境中的这些物质和能量供应不足或者不平衡，也会危及人类社会的生存和发展。因此，环境是人类社会存在和发展的基本物质条件。

环境的价值性源于环境的资源性。最初人们对环境价值的认识是有误区的，认为环境中的物质都是取之不尽、用之不竭的，因而也就没有对环境资源的价值性给予足够的重视。事实证明，正是这种错误的认识，导致了人类大肆攫取自然资源，并由此引发了严重的环境污染和生态破坏。

1.1.3 环境的组成

在环境科学研究中，不同的环境在功能和特征上存在着很大的差异。通常，根据特征和功能不同将人类环境划分为自然环境和人工环境（左玉辉, 2010）。

1. 自然环境

自然环境是指直接或间接影响到人类的一切自然形成的物质、能量和自然现象的总体，有时简称环境，图 1-1 表述了自然环境的组成。自然环境亦可看作由地球环境和外围空间环境两部分组成。自然环境是人类发生和发展的重要物质基础，它不但为人类提供了生存和发展的空间，还提供了生命支持系统，更为重要的是为人类的生活和生产活动提供了食物、矿产、木材、能源等原材料和物质资源，因此人类的一切活动都和自然环境密不可分。

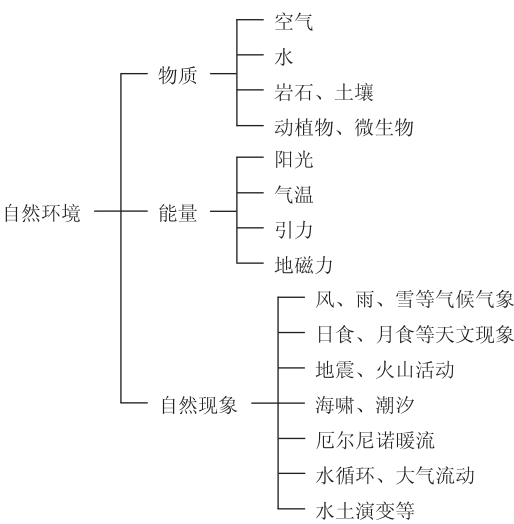


图 1-1 自然环境的组成

资料来源：鞠美庭等（2010）

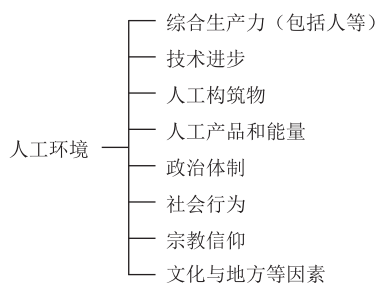


图 1-2 人工环境的组成

资料来源：鞠美庭等（2010）

2. 人工环境

人工环境是指由于人类活动而形成的环境要素，包括人工形成的物质、能量和精神产品，以及人类活动中形成的人与人之间的关系（或称上层建筑）（图 1-2）。

人工环境与自然环境在形成、发展、结构与功能等方面存在着本质区别。随着人类驾驭自然能力的提高，人类对自然环境的影响力度不断增强，范围逐渐扩大。正是人类充满智慧的劳动创造，才形成了堪比自然的、丰富多彩的多样化环境，满足了人类不断增长的物质与文化

需求；但是也正因为如此，人与自然的矛盾逐渐激化，从而带来了越来越严重的环境问题。

1.1.4 环境要素及其特性

1. 环境要素

环境要素又称环境基质，是指构成人类环境整体的各种性质不同而又遵循整体演化规律的基本物质组分，分自然环境要素和人工环境要素（鞠美庭等，2010）。自然环境要素指围绕人们周围的各种自然因子的总和，如大气、水、动物、植物、土壤、岩石矿物、太阳辐射等，这是人类赖以生存的物质基础，通常分为大气圈、水圈、生物圈、土壤圈、岩石圈五个自然圈层。人工环境要素指人为加工形成的生活环境，包括人类住宅、产业体系以及交通、通信、供水、供气、绿化等各种公共服务设施。

环境要素组成环境结构单元，其构成了环境整体或环境系统。例如，由水组成水体，全部水体总称为水圈；由大气组成大气层，整个大气层总称为大气圈；由生物个体组成生物群落，全部生物群落构成生物圈等。

2. 环境要素的特性

环境要素具有一些十分重要的特性。这些特性不仅体现着各环境要素间互相联系、互相作用的基本关系，而且是认识环境、评价环境和改造环境的基本依据。各环境要素之间存在如下规律。

1) 最差（小）限制定律

该定律是指整体环境的质量，不由环境诸要素的平均状态决定，而是受环境诸要素中那个处于最差状态的要素所控制。

2) 等值性

各个环境要素在规模或数量上会有所不同，但只要是一个独立的要素，对环境质量的限制作用并无质的差异。

3) 各环境要素整体效应大于个体效应之和

环境诸要素相互联系、相互作用所产生的整体效应，是在个体效应基础上质的飞跃。

4) 各环境要素相互联系

环境诸要素在地球演化史上的出现,虽然有先后之别,但它们是相互联系、相互制约和相互依赖的。某些要素孕育着其他要素,影响着地球演化的进程。例如,岩石圈的形成成为大气圈的出现提供了条件,岩石圈和大气圈共存为水圈的产生提供了条件,而岩石圈、大气圈和水圈又孕育了生物圈。

1.2 环境问题产生及发展

1.2.1 环境承载力

承载力是用于限制发展的一个最常用的概念。“环境承载力”一词最初用来描述环境对人类活动所具有的支持能力。众所周知,环境是人类生产的物质条件,是人类社会存在和发展的物质载体,它不仅为人类的各种活动提供空间场所,同时也供给这些活动所需要的物质资源和能量。这一客观存在反映出环境对人类活动具有支持能力。正是在认识到环境的这种客观属性的基础上,20世纪70年代,“环境承载力”一词开始出现在文献中。

环境问题产生的原因多样,如人口过多导致环境的压力太大、生产过程资源利用率低造成资源浪费及污染物产生、毁林开荒引起生态失调等,以上均为环境问题形成和发展的重要原因。这些都可归纳为由人类社会经济活动所致,即环境问题是人类社会经济活动超越了环境承载的限度而引起的。

1991年,北京大学等在福建省湄洲湾环境规划的研究中,科学定义了“环境承载力”的含义,即环境承载力是指在某一时期某种状态或条件下,某一地区的环境所能承受人类活动作用的阈值。这里,所谓“能承受”是指不影响环境系统正常功能的发挥。了解“环境承载力”的概念,对理解经济发展和环境保护十分重要。在不同时期和地区的环境中,人类开发活动水平会影响该地区的社会生产力和人们生活水平及其环境质量。开发强度不够,社会生产力低下,人类生活水平受限;而开发强度过大,会影响、干扰以至破坏环境,反过来又会制约社会生产力及人们生活水平的提高。因此,人类必须掌握环境系统的运动变化规律,明确发展过程中经济与环境相互制约的辩证关系,在开发活动中合理控制人类活动的强度尽可能接近但不超过环境承载力,既高速发展生产力,改善人民生活水平,又不至于破坏环境,从而实现经济与环境的协调发展(曲向荣,2015)。

1.2.2 环境问题的概念及分类

1. 环境问题的概念

从广义上理解,环境问题是指任何由自然或人类活动引发的生态平衡破坏而直接或间接影响人类的生存和发展的一切客观存在的问题。

环境科学所研究的环境问题主要是指由人类活动引起的环境问题,即人类在利用和改造自然的过程中引起环境质量的变化,以及这种变化对人类生产、生活、健康乃至生命的影响。这也是从狭义的角度理解的环境问题。

2. 环境问题的分类

根据环境问题产生的先后和发生机制,可分为原生环境问题和次生环境问题。由自然灾害引起的环境问题称为原生环境问题,又称为第一环境问题。自然原因对环境造成的影响主要是指各种巨大的自然灾害,如地震、火山喷发、气候巨变或者是外来天体撞击地球等。目前,人类对这类问题尚不能有效防治,只能侧重于监测和预报。人为因素引起的环境问题称为次生环境问题,又称第二环境问题。人为因素对环境造成的破坏主要是指人类为了满足自己的生产和消费活动,过度地从自然环境中攫取资源,或者过度地将生产和消费活动过程所产生的废弃物向环境排放,超过环境自身的调节能力,从而对环境造成破坏,使环境质量越来越差(鞠美庭, 2004)。次生环境问题又可分为环境污染和生态破坏两类。通常所说的环境问题主要是指次生环境问题(图 1-3)。原生环境问题和次生环境问题是相对的,它们常常相互影响,重叠发生,形成所谓的复合效应。例如,大面积毁坏森林可导致降水量减少;大量排放二氧化碳(CO_2)可加强“温室效应”,使地球气温升高、干旱加剧。

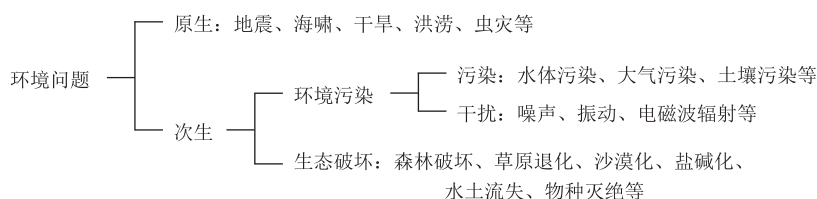


图 1-3 环境问题的分类

资料来源：赵景联和史小妹（2016）

1) 环境污染

环境污染是指人类活动产生并排入环境的污染物或污染因素超过了环境容量和环境自净能力,使环境的组成或状态发生了改变,环境质量恶化,从而影响和破坏了人类正常的生产和生活。例如,工业“三废”排放引起的大气、水体、土壤污染等。

2) 生态破坏

生态破坏是指人类开发利用自然环境和自然资源的活动超过了环境自我调节能力,使环境质量恶化或自然资源枯竭,影响和破坏了生物正常的发育和演化,以及可更新自然资源的持续利用。例如,砍伐森林引起的土地沙漠化、水土流失、动植物物种灭绝等。

环境污染和生态破坏都是人类不合理开发利用环境的结果。两者是互相联系的,不能截然分开。严重的环境污染会导致生物死亡从而破坏生态平衡,使生态系统遭受破坏,进而降低环境的自净能力,加剧环境污染的程度(王玉梅, 2010)。

1.2.3 环境问题的发展历程

人类是地球环境演化到一定阶段的产物,环境是人类赖以生存和发展的基础。人类的生产和消费活动离不开环境,而且会对环境造成影响,也就是说环境问题自古就有,环境问题的发展与人类社会的发展是同步的。审视人类社会发展的历程,可以将环境问

题的产生和发展概括为以下三个阶段（鞠美庭等, 2010）。

1. 环境问题的萌芽阶段

此阶段从人类出现开始直到 18 世纪 60 年代产业革命，是一个漫长的时期。此阶段的环境问题主要是生态退化，特征是：人类利用和改造自然界的能力增强，出现局部环境问题。在该阶段，人类经历了从以采集狩猎为生的游牧生活到以耕种和养殖为生的定居生活的转变。随着种植、养殖和渔业的发展，人类社会开始第一次劳动大分工。人类从完全依赖大自然的恩赐转变到自觉利用土地、生物、陆地水体和海洋等自然资源。人类的生活资料有了较以前稳定得多的来源，人类的种群开始迅速扩大。人类社会需要更多的资源来扩大物质生产规模，便开始出现烧荒、垦荒、兴修水利工程等改造活动，引起严重的水土流失、土壤盐渍化或沼泽化等问题。但此时的人类还意识不到这样做的长远后果，一些地区因而发生了严重的生态退化等环境问题。较突出的案例是，古代经济发达的美索不达米亚，由于不合理开垦和灌溉使其变成不毛之地；中国黄河流域曾经森林广布、土地肥沃，是中华文明的发源地，而西汉和东汉时期的两次大规模开垦，虽然促进了当时农业发展，但是由于森林面积骤减，水源得不到涵养，水旱灾害频发，水土流失严重，沟壑纵横，土地日益贫瘠，给后代造成了不可弥补的损失（鞠美庭等, 2010; 鞠美庭, 2004）。

2. 近代环境问题阶段

此阶段从工业革命开始到 20 世纪 80 年代发现南极上空的臭氧空洞为止。工业革命（从农业占优势的经济向工业占优势的经济迅速过渡称为工业革命）是世界史上一个新时期的起点，此后的环境问题也开始出现新的特点。此阶段的环境问题主要是城市环境污染问题，主要特征是工业污染转向城市污染和农业污染、点源污染转向面源污染、局部污染转向区域污染和全球性污染，构成了第一次环境问题的高潮。18 世纪后期，欧洲一系列发明和技术革新大大提高了人类社会的生产力，人类发展开始插上技术的翅膀，开始以空前的规模和速度开采与消耗能源及其他自然资源。新技术使英国、欧洲和美国等地在不到一个世纪的时间里先后进入工业化社会，并迅速向全世界蔓延，在世界范围内形成发达国家和发展中国家。工业化社会的特点是高度城市化。这一阶段的环境问题跟工业和城市同步发展。先是由于人口和工业密集，燃煤量和燃油量剧增，发达国家的城市饱受空气污染之苦，后来这些国家的城市周围又出现日益严重的水污染和垃圾污染，工业“三废”、汽车尾气更是加剧了这些污染公害的程度。在后来的 20 世纪六七十年代，发达国家普遍花大力气对这些城市环境问题进行治疗，并把污染严重的工业搬到发展中国家，较好地解决了国内的环境污染问题。随着发达国家环境状况的改善，发展中国家却开始步发达国家的后尘，重走工业化和城市化的老路，城市环境问题有过之而无不及，同时伴随着严重的生态破坏。震惊世界的“八大公害事件”就发生在这一阶段（鞠美庭等, 2010; 鞠美庭, 2004）。

3. 当代环境问题阶段

此阶段从 1984 年英国科学家发现和 1985 年美国科学家证实南极上空出现的“臭氧空洞”开始。此阶段的环境问题主要是全球性环境问题，特征是：在全球范围内出现了不利于人类生存和发展的征兆，主要集中在酸雨、臭氧层破坏和全球气候变暖三大全球性大气环境问题上，引发了第二次世界环境问题研究的高潮。与此同时，发展中国家的城市环境问题和生态破坏以及一些国家的贫困化愈演愈烈，水资源短缺在全球范围内普遍发生，其他资源（包括能源）也相继出现将要耗竭的信号。这一切表明，生物圈这一生命支持系统对人类社会的支撑已接近它的极限，同时也表明了环境问题的复杂性和长远性（鞠美庭等, 2010）。

1.3 全球环境问题

1.3.1 全球气候变化

全球气候变化问题是世界环境、人类健康和全球经济持续发展的最大威胁之一，是最典型且最敏感的全球尺度环境问题，被列为全球十大环境问题之首。20 世纪 70 年代，气候变暖作为一个全球环境问题首次被科学家提了出来。80 年代，随着对人类活动和全球气候关系认识的深化，这一问题开始成为国际政治和外交议题。1992 年联合国环境与发展大会通过并签署了《联合国气候变化框架公约》。1997 年 12 月，170 多个国家的政府首脑在日本京都就全球气候变化问题达成了《京都议定书》，旨在气候变化导致严重后果之前采取一致的行动，控制气候变化的发展趋势。2007 年 12 月 3 日，联合国气候变化大会在印度尼西亚巴厘岛开幕，190 多个国家的代表和科学家在会上讨论气候变暖和温室气体减排问题。2021 年 10 月 31 日，二十国集团领导人第十六次峰会就控制全球平均气温升幅达成一致。气候变化问题涉及了经济发展方式及能源利用的结构与数量，正在成为一个深刻影响 21 世纪全球发展的重大国际问题。

1. 气候变化

气候变化是指气候平均状态在统计学意义上的巨大改变或者持续较长一段时间（典型为 10 年或更长）的变动。《联合国气候变化框架公约》将“气候变化”定义为“经过相当一段时间的观察，在自然气候变化之外由人类活动直接或间接地改变全球大气组成所导致的气候改变”，将人类活动改变大气组成的气候变化与自然原因的气候变率区分开来（邵超峰和鞠美庭, 2021）。全球气候变化则是指全球气候平均值和离差值两者中的一个或两个同时随时间出现了统计学上的显著变化。平均值的升降，表明气候平均状态的变化；离差值增大，表明气候状态不稳定性增加，气候异常愈发明显。国际社会所讨论的气候变化问题，主要是指温室气体增加产生的全球气候变暖问题（鞠美庭等, 2010）。

2. 气候变化的成因与发展

气候变化的成因主要是煤炭、石油和天然气等化石燃料的燃烧，这些化石燃料燃烧会产生温室气体造成温室效应。在地质历史上，全球气候发生过显著变化。约一万年前，最后一次冰河期结束，地球的气候相对稳定在当前人类习以为常的状态。地球的温度是由太阳辐射照到地球表面的速率和吸热后的地球将红外辐射散发到空间的速率决定的。从长期来看，地球从太阳吸收的能量必须同地球及大气层向外散发的辐射能相平衡。大气中的二氧化碳（CO₂）和其他微量气体，如甲烷（CH₄）、臭氧（O₃）、氟利昂[大多为氯氟烃（CFCs）和氢氯氟烃（HCFCs）等]，可以使太阳的短波辐射几乎无衰减地通过，但却可以吸收地球的长波辐射（陈征澳和邹洪涛, 2011）。因此，这类气体有类似温室的效应，被称为“温室气体”。温室气体吸收长波辐射并再反射回地球，从而减少向外层空间的能量净排放，导致大气层和地球表面温度上升，这就是“温室效应”。大气中已经发现的能产生温室效应的气体有近 30 种，其中，CO₂ 起主要作用，CH₄、CFCs 和以氧化亚氮为主的氮氧化物（NO_x）也起相当重要的作用（表 1-1）。从政府间气候变化专门委员会长期气候数据的比较来看，气温和二氧化碳之间存在显著相关关系（图 1-4），也就是二氧化碳浓度越高，气温也会越高（吴彩斌, 2014）。

表 1-1 主要温室气体及其特征

气体	大气中体积分数/10 ⁻⁶	年增长 /%	存留期 /a	增温效应 (CO ₂ =1)	现有贡献率 /%	主要来源
CO ₂	355	0.4	50~200	1	55	煤、石油、天然气、森林砍伐
CFCs	0.000 85	2.2	50~102	3400~15 000	24	发泡剂、气溶胶、制冷剂、清洗剂
CH ₄	1.714	0.8	12~17	11	15	湿地、稻田、化石燃料、牲畜
NO _x	0.31	0.25	120	270	6	化石燃料、化肥、森林砍伐

资料来源：全球环境基金（GEF）：Valuing the Global Environment, 1998。

温室气体排放造成全球气温明显升高，进而影响全球气候（周北海, 2017）。科学观测结果表明，21 世纪以来大气中各种温室气体的浓度都在增加。1750 年前，大气中 CO₂ 浓度基本维持在 280 mg/L。工业革命后，随着人类活动的加剧，特别是化石燃料（煤炭、石油等）消耗的不断增长和森林植被的大量破坏，人为排放的 CO₂ 等温室气体不断增加，导致大气中 CO₂ 浓度以每年 1.8 mg/L（约 0.4%）的速度逐渐上升，直至近 360 mg/L。从测量结果来看，大气中 CO₂ 增加部分约等于人为排放量的一半。按照政府间气候变化专门委员会的评估，在过去一个世纪里，全球表面平均温度已经上升了 0.3~0.6℃，全球海平面上升了 10~25 cm（吴彩斌, 2014）。许多学者预测，世界能源消费的格局若不发生根本性改变，大气中 CO₂ 的浓度在未来几十年内将达到 560 mg/L，地球平均温度将有较大幅度的增加。政府间气候变化专门委员会 1996 年发布的评估报告，再次肯定了温室气体增加会导致全球气候变化的结论。各种计算机模型预测结果表明，如果 CO₂ 浓度从工业革命前的 280 mg/L 增加到 560 mg/L，全球平均温度可能上升 1.5~4℃。世界气象组织在 2025 年 1 月证实，2024 年是有记录以来最热的一年，全球气温比工业化前水

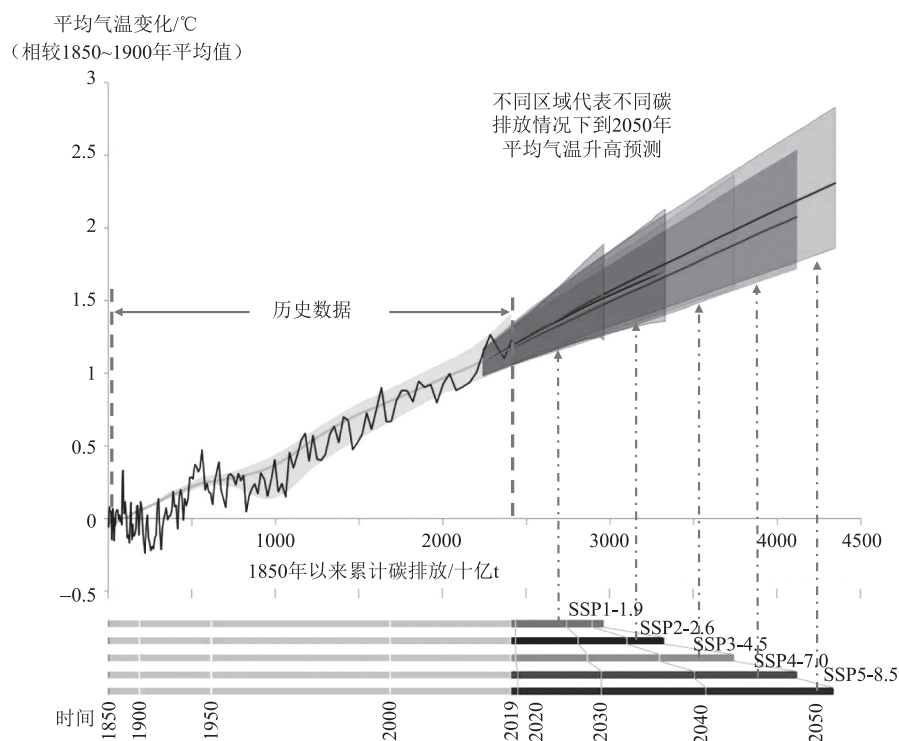


图 1-4 全球平均气温变化与二氧化碳排放量关系图

资料来源：政府间气候变化专门委员会

平高出 1.55℃。2024 年 1 月成为全球有记录以来最热的 1 月，当月全球平均地表气温达到了 13.14℃。

3. 气候变化的危害

气候变化的影响具有多尺度、全方位、多层次、正负面影响并存的特点。全球气候变暖对许多地区的生态系统造成影响（鞠美庭等, 2010）。近年来，世界各国出现了几百年来历史上的最热天气。厄尔尼诺现象频繁发生，给各国造成了巨大的经济损失。按照现在的一些发展趋势，科学家预测气候变化的危害有如下几点。

1) 冰川消融

冰川是地球上最大的淡水来源，全世界的冰川总面积大约为 1500 万 km²。自 20 世纪 90 年代起，全球冰川呈现出加速融化的趋势，使人类面临饮用水减少、水资源短缺的威胁。2007 年 4 月，绿色和平考察队在喜马拉雅山拍摄了冰川消融的严峻状况。政府间气候变化专门委员会报告指出，根据目前的全球变暖趋势，不到 30 年，80% 面积的喜马拉雅冰川将消融殆尽；21 世纪仅山地冰川和冰帽的消融，就将使海平面上升 0.01~0.23 m（鞠美庭等, 2010）。

2) 海平面升高

全世界大约有一半的人口生活在沿海岸线 60 km 范围内，这些地区一般经济发达，