



普通高等教育“十三五”规划教材

PUTONG GAODENG JIAOYU “13-5” GUIHUA JIAOCAI

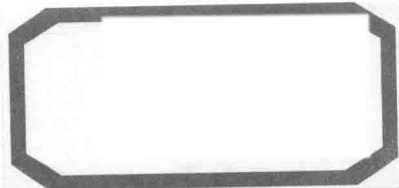
# 电力能源与环境概论

主 编 曾 芳 张 盼

副主编 齐立强 李晶欣



冶金工业出版社  
[www.cnmip.com.cn](http://www.cnmip.com.cn)



普通高等教育“十三五”规划教材

# 电力能源与环境概论

主编 曾芳 张盼  
副主编 齐立强 李晶欣

能源系统的出现，先进核动力装置的应用，能源技术的进步推动了人类社会的发展。电力能源是二次能源，在利用由电力能源自身不产生温室气体，是一种清洁高效的能源转换利用形式。在我国充分利用资源，改善能源结构，提高能源利用效率，是根本措施。但电力能源在生产过程中需要消耗煤炭、石油、天然气、核能、水、土地资源等，同时排放出各种大气、水、固体废弃物等，带来气候变化、酸雨蔓延、化石资源枯竭、土壤盐碱化等环境问题。能源生产与利用密切相关，因此能源技术科学与环境科学不断交叉融合形成能源环境等新兴学科。

围绕能源与环境这一新兴学科的发展，一些高校陆续开设如“能源与环境概论”等类似课程。本书可作为电力能源类专业基础课程教材，也可作为具有电力特色能源环境类专业基础课程教材。因此迫切需要将与之相对应的教材的编写。本书把环境科学基本理论与电力能源生产及污染物控制技术有机结合，使读者在了解环境问题的基础上，进一步分析电力能源生产带来的大气污染、水污染物、固体废弃物、物理性污染及电力能源可持续发展问题。与国外同类书籍相比，本书着重介绍了火力发电过程中产生的各种环境问题及解决的方法。本书可作为高等院校相关专业本科教材，也可作为具有电力能源特色，也可作为燃煤电

本书共分8章，第1章、第2章、第4章、第5章、第8章由华北电力大学环境科学与工程学院齐立强编写，第3章、第6章、第7章由华北电力大学环境科学与工程学院李晶欣编写。

北京 冶金工业出版社

2019

作者 2019年6月



## 内 容 提 要

针对能源技术科学与环境科学交叉融合,本书把环境科学基本理论与电力能源生产及污染物控制技术有机结合,形成一本具有电力特色的能源环境类教材。本书主要内容包括:环境与环境问题,生态学基础与环境科学体系建立,常规能源的利用与电力能源生产,电力能源生产与大气环境问题,电力能源生产与水环境问题,电力能源生产与固体废弃物污染,电力能源生产与物理性污染,新能源利用与电力能源可持续发展。让读者在了解环境问题的基础上,进一步认识到电力能源生产带来的大气污染、水污染物、固体废弃物、物理性污染问题及解决的方法。

本书可作为高等院校相关专业本科生教材,同时由于本书具有电力能源特色,也可作为燃煤电厂技术人员参考书目及培训教材使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

电力能源与环境概论/曾芳,张盼主编. —北京:冶金工业出版社, 2019. 9

普通高等教育“十三五”规划教材

ISBN 978-7-5024-8194-0

I. ①电… II. ①曾… ②张… III. ①电能—电力工程—环境保护—高等学校—教材 IV. ①TM60 ②X322

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第169981号

出版人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷39号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjcs@cnmp.com.cn

责任编辑 于昕蕾 美术编辑 彭子赫 版式设计 禹蕊

责任校对 李娜 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-8194-0

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;三河市双峰印刷装订有限公司印刷  
2019年9月第1版,2019年9月第1次印刷

787mm×1092mm 1/16; 19印张; 458千字; 294页

45.00元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

# 前 言

社会经济的发展离不开能源，从瓦特发明蒸汽机到近代大电力系统的出现、先进核动力装置的应用，能源技术的进步推动了人类社会的发展。电力能源是二次能源，在使用中电力能源本身不会对环境产生污染，是一种清洁高效的能源转换利用形式，不断提高电力能源消费在终端能源消费中的比重，是我国充分利用资源、改善环境质量、提高生产效率的一项根本措施。但电力能源在生产过程中需要消耗各类一次能源，如常规化石能源、核能、水资源、土地资源等，同时排放出各种大气、水、固体废弃物等，带来气候变暖、酸雨蔓延、化石资源枯竭、水资源短缺等许多生态环境问题，环境问题的解决与能源生产与利用密切相关，因此能源技术科学与环境科学不断交叉融合形成能源环境等新兴学科。

围绕能源与环境这一新兴学科的发展，一些高校陆续开设如“能源与环境概论”等类似课程，华北电力大学也把“电力能源与环境概论”作为具有电力特色能源环境类专业基础课程讲授，因此迫切需要与之相对应的教材的编写。本书把环境科学基本理论与电力能源生产及污染物控制技术有机结合，让读者在了解环境问题的基础上，进一步分析电力能源生产带来的大气污染、水污染物、固体废弃物、物理性污染及电力能源可持续发展问题。本书特色在于涉及的知识面广泛，注重资料的新颖和学科交叉，文字简洁易懂。与国内外同类书籍相比，本书重点在于突出分析火力发电过程产生的各种环境问题及解决的方法。本书可作为高等院校相关专业本科生教材；同时由于本书具有电力能源特色，也可作为燃煤电厂技术人员参考书目及培训教材使用。

本书共分为8章，全书由华北电力大学环境科学与工程系曾芳统稿主编，第1章、第2章、第4章由曾芳、陈力编写，第3章由华北电力大学环境科学与工程系齐立强编写，第5章、第8章由华北电力大学环境科学与工程系曾芳、李晶欣编写，第6章、第7章由华北电力大学环境科学与工程系张盼编写。

由于作者水平有限，若有不妥之处，恳请广大读者指正。

作 者

2019年6月

4.4.1	燃煤电厂大气污染控制工程原理	127
4.4.2	燃煤电厂大气污染控制工程原理	128
4.4.3	燃煤电厂大气污染控制工程原理	129
<b>目 录</b>		
5	电力能源生产与水环境问题	145
1	<b>环境与环境问题</b>	1
1.1	<b>1.1 认识环境</b>	1
1.1.1	1.1.1 人类环境	1
1.1.2	1.1.2 环境的结构	3
1.1.3	1.1.3 环境系统	4
1.1.4	1.1.4 环境质量	7
1.2	<b>1.2 环境问题</b>	8
1.2.1	1.2.1 环境问题概念	8
1.2.2	1.2.2 环境问题产生与发展	8
1.2.3	1.2.3 我国生态环境状况分析	10
1.2.4	1.2.4 环境问题的产生原因和实质	15
1.2.5	1.2.5 人与环境和谐	16
	思考与练习题	18
2	<b>生态学基础与环境科学体系建立</b>	19
2.1	<b>2.1 生态学基础</b>	19
2.1.1	2.1.1 生态系统的概念	19
2.1.2	2.1.2 生态系统的结构	19
2.1.3	2.1.3 生态系统的物质循环	20
2.1.4	2.1.4 生态系统的能量流动	21
2.1.5	2.1.5 生态平衡	21
2.1.6	2.1.6 生态学的基本规律	22
2.2	<b>2.2 环境科学体系建立</b>	24
2.2.1	2.2.1 环境科学的发展	24
2.2.2	2.2.2 环境科学学科体系建立	25
2.2.3	2.2.3 环境科学的基础理论的发展	28
2.2.4	2.2.4 环境科学的研究对象、性质和任务	29
2.3	<b>2.3 能源环境学科的发展</b>	29
2.3.1	2.3.1 能源环境	30
2.3.2	2.3.2 能源环境学研究的基本理论	30
2.3.3	2.3.3 能源环境研究的重点领域	32
2.3.4	2.3.4 能源环境科学的未来发展	34

思考与练习题 .....	35
<b>3 常规能源的利用与电力能源生产</b> .....	<b>36</b>
3.1 能源发展概述 .....	36
3.1.1 能源的定义 .....	36
3.1.2 能源的分类 .....	36
3.1.3 能源的评价 .....	38
3.1.4 能源与社会经济发展 .....	40
3.1.5 能源资源概况 .....	42
3.1.6 能源结构 .....	44
3.1.7 能源利用技术经济指标 .....	48
3.1.8 能源环境与安全 .....	50
3.1.9 中国能源现状、问题及对策 .....	51
3.2 常规化石能源 .....	55
3.2.1 煤炭 .....	55
3.2.2 石油 .....	69
3.2.3 天然气 .....	78
3.3 火电厂生产过程 .....	86
3.3.1 火电厂典型生产过程 .....	86
3.3.2 火电厂的生产主系统 .....	88
3.3.3 火力发电厂的分类 .....	89
思考与练习题 .....	91
<b>4 电力能源生产与大气环境问题</b> .....	<b>93</b>
4.1 大气环境概况 .....	93
4.1.1 大气环境的化学组成 .....	93
4.1.2 大气圈的结构 .....	94
4.2 大气污染源与大气污染物 .....	95
4.2.1 大气污染 .....	95
4.2.2 大气污染源及分类 .....	96
4.2.3 大气污染物及类型 .....	97
4.2.4 大气颗粒物污染及危害 .....	98
4.2.5 气体状态污染物污染及危害 .....	103
4.3 典型大气环境问题 .....	111
4.3.1 全球气候变暖问题 .....	111
4.3.2 臭氧层破坏问题 .....	116
4.3.3 酸雨问题 .....	121
4.3.4 光化学烟雾问题 .....	125
4.4 电力能源生产与大气污染控制 .....	127

4.4.1	燃煤电厂主要大气污染物	127
4.4.2	燃煤电厂大气污染物排放标准要求	128
4.4.3	燃煤火力发电大气污染防治技术	129
	思考与练习题	144
<b>5</b>	<b>电力能源生产与水环境问题</b>	<b>145</b>
5.1	水资源	145
5.1.1	水资源与水循环	145
5.1.2	水资源的分布	146
5.1.3	水资源存在问题及解决措施	148
5.2	天然水与水质指标	150
5.2.1	天然水体及分类	150
5.2.2	天然水的组成	150
5.2.3	天然水的性质	152
5.2.4	几种典型水体的水质特点	153
5.2.5	水质指标	154
5.3	水体污染与典型水污染问题	157
5.3.1	水体污染	157
5.3.2	水体污染源	157
5.3.3	水体中主要污染物	158
5.3.4	污染物在水体中的转化及典型的水环境问题	164
5.3.5	水体富营养化	168
5.4	电力能源生产与水环境问题	171
5.4.1	水力发电过程与水环境问题	171
5.4.2	火力发电与水环境问题	176
5.4.3	火电厂废水处理技术	180
	思考与练习题	189
<b>6</b>	<b>电力能源生产与固体废弃物污染</b>	<b>191</b>
6.1	固体废弃物污染	191
6.1.1	固体废弃物概念	191
6.1.2	固体废弃物来源与分类	192
6.1.3	固体废弃物对环境的危害	198
6.2	固体废弃物污染防治与管理	199
6.2.1	控制固体废弃物污染的技术政策	199
6.2.2	控制固体废弃物的管理政策	200
6.2.3	控制固体废弃物的经济政策	202
6.3	电力能源生产中产生的固体废弃物	203
6.3.1	煤开采过程产生固体废弃物	203

6.3.2	火力发电过程产生固体废弃物	206
6.4	固体废弃物处置与综合利用	210
6.4.1	固体废弃物处理与利用技术	210
6.4.2	固体废弃物处置方法	214
6.4.3	煤开采过程中的废弃物利用	217
6.4.4	火力发电产生的废弃物利用	219
	思考与练习题	224
<b>7</b>	<b>电力能源生产与物理性污染</b>	
7.1	物理性污染	226
7.1.1	物理性污染概念及分类	226
7.1.2	物理性污染产生的原因及对环境的危害	228
7.2	电力能源生产过程中的物理性污染	236
7.2.1	噪声污染	236
7.2.2	放射性污染	237
7.2.3	电磁辐射污染	238
7.2.4	热污染	242
7.3	物理性污染防治与管理	243
7.3.1	噪声污染防治与管理	243
7.3.2	放射性污染防治	246
7.3.3	电磁辐射污染防治与管理	251
7.3.4	光污染防治与管理	252
7.3.5	热污染	254
	思考与练习题	256
<b>8</b>	<b>新能源利用与电力能源可持续发展</b>	257
8.1	新能源概述	257
8.1.1	常见新能源形式	257
8.1.2	新能源的发展现状和趋势	260
8.1.3	新能源的环境意义和能源安全战略意义	261
8.2	新能源发电技术	261
8.2.1	核能发电	261
8.2.2	生物质能发电	268
8.2.3	风能发电	275
8.2.4	太阳能发电	279
8.3	电力能源可持续发展	285
8.3.1	可持续发展概念提出	285
8.3.2	可持续发展的基本原则	286
8.3.3	电力能源可持续发展	286
	思考与练习题	291
	参考文献	292

## 1

## 环境与环境问题

## 1.1 认识环境

“环境”一词，在中国古代文献中，最早出现在中国元史《余阙传》中“乃集有司与诸将议屯田战守计，环境筑堡垒，选精甲外捍，而耕稼于中”，其“环境”含义为“环绕全境”。从哲学角度来说，环境是一个相对于主体而存在的客体，对于环境科学而言，环境是指以人类为主体的外部世界的总和，即人类赖以生存和发展的物质条件的综合体，因此环境也可称为人类环境。

## 1.1.1 人类环境

这里所指的人类赖以生存和发展的物质条件即“人的生存条件，并不是当他刚从狭义的动物中分化出来的时候就现成具有的，这些条件只是由以后的历史发展才造成的（恩格斯）”。人类的生存环境不同于生物的生存环境，也不同于所谓的自然环境。人类的原始环境是自然环境，人类的祖先是在地表自然界发展到一定阶段，具备了一定条件，通过自己同环境作斗争的辛勤劳动，才作为一个新物种从其他动物中分化出来的。在人类出现很久以前，自然界经历了漫长的发展过程。地球表面，在地球内部能量和太阳辐射能的共同作用下，通过一系列物质能量迁移转化的物理化学过程，经过很长的无生命阶段，形成了原始的地表环境，为生物的发生发展创造了必要条件。生物的发生和发展使地表环境的发展进入一个质变新阶段，即出现了物质能量迁移转化的生物过程，产生了生物圈，为人类的发生发展提供了物质条件。

人类诞生以后，人类除了以自己的存在来影响环境、适应环境外，还以自己的劳动来改造环境，把自然环境转变为新的生存环境，新的生存环境再反作用于人类，经反复曲折长期的过程，人类在改造客观世界的同时，也改造自己。人类的劳动学会了更有效地利用环境，改造环境，给自然环境打上了人类社会活动的烙印，并相应地产生了一个智能圈或技术圈、社会经济圈。人类赖以生存的环境，就是这样由简单到复杂，由低级到高级发展而来的。因此，中国以及世界上其他国家颁布的环境保护法规中，对环境一词做的明确具体界定，是从环境科学含义出发，如《中华人民共和国环境保护法》明确指出，“环境是指大气、水、土地、矿藏、森林、草原、野生动物、野生植物、水生生物、名胜古迹、风景游览区、温泉、疗养区、自然保护区、生活居住区等。”

## 1.1.1.1 自然环境

人类环境是庞大而复杂的多级大系统，按照环境要素的形成可以分为自然环境和人工环境，自然环境即原生环境，又称为第一环境。自然环境是人类出现之前就存在的，是人类目前赖以生存、生活和生产所必需的自然条件和自然资源的总称。自然环境是人类生存

和发展的物质基础,它是由大气、水体、土地、岩石和生物等各种自然环境要素以不同的组分和耦合方式,组成多种多样的生存环境。自然环境可以从各种不同的角度做进一步分类,按要素可分为大气环境、水环境、土壤环境等,按生态特征可分为陆生环境、水生环境等。因此,可以认为自然环境是一切直接或间接影响人类的自然形成的物质、能量和现象的总体。物质包括空气、水、岩石、动植物、微生物等要素,能量包括阳光、温度、引力、电磁力等要素,自然现象包括太阳的稳定性、地壳的稳定性、大气运动、水循环、水土演变等要素。这些环境要素构成了相互联系、相互制约的自然环境体系。自然环境如图 1-1 所示。

### 1.1.1.2 人工环境

人工环境是经过人类劳动的改造或加工而形成的工程环境和社会环境,称为次生环境,包括人工形成的物质、能量和精神产品,如图 1-2 所示。工程环境是在自然环境的基础上,由人类的工业、农业、建筑、交通、通信等工程所构成的人工环境,构成一个整体的技术圈。它表示由人类社会建造的有一定的社会结构和物质文明的世界,包括地球上使用技术手段的一切领域或地球表层由技术引起全部变化的总和,如工业系统、农业系统、交通系统、通信系统、城市系统和乡村居住系统等等。工程环境的形成,表明技术因素对自然界的作用,它一方面表明人类的本质力量,人类技术因素对自然的作用,另一方面离不开自然界的状况。因此,工程环境不能破坏自然环境,不能毁坏生物圈,而应遵循生态系统的原则,完善自然环境,并与自然环境相互作用,形成一个“工程-自然”统一的系统;社会环境是人类在长期生存发展的社会劳动中所形成的,是人与人之间各种社会联系及联系方式的总和(或者称为上层建筑),包括经济关系、道德观念、文化风俗、意识形态、法律关系等。与自然环境的概念一样,人工环境是把环境看成是以人为中心的客体的这一大前提下派生出来的一个概念,它是在自然环境的基础上,人类通过长期有意识的社会劳动,加工和改造了的自然物质,创造的物质生产体系,积累的物质文化等所构成的总和。人工环境是人类活动的必然产物,它一方面是人类社会进一步发展的促进因素,另一方面又可能成为束缚因素。人工环境是人类精神文明和物质文明的一种标志,并随着人类社会不断发展地丰富和演变。如今的地球表层大部分受过人类的干预,原生的自然环境已经不多见了。环境科学所研究的环境是人类在自然环境的基础上,通过长期有意识的社会劳



图 1-1 自然环境



图 1-2 人工环境

动所创造的人类环境。它是人类物质文明和精神文明发展的标志,并随着人类社会的发展不断丰富和演变。人类环境的分类和组成如下:

自然环境	物质:空气、水、岩石、动植物、微生物等	能量:阳光、温度、引力、电磁力等	自然现象:太阳及地壳的稳定性、大气运动、水循环、水土演变等

### 1.1.2 环境的结构

环境具有多种层次,多种结构,可以作各种不同的划分。环境科学是把环境作为一个整体进行综合研究的。由自然环境、人工环境,共同组成各级人类生存环境结构单元。按照环境要素可分为大气、水、土壤、生物等环境;按照人类活动范围可分为车间、厂矿、村落、城市、区域、全球、宇宙等环境;它由近及远,由小到大可分为聚落环境、区域环境、全球环境和星际环境。

#### 1.1.2.1 聚落环境

聚落环境是人类群居生活的场所,是人类利用和改造自然而创造出来的与人类关系最密切、最直接的生存环境。按其性质、功能和规模大小可分为:居室环境、院落环境、村落环境、城市环境。

居室环境是人类最直接、接触时间最长的生活环境。居室环境的演变,有着漫长的发展过程,随着人类经济技术水平的发展,而日益改善。院落环境,是由一些功能不同的建筑物以及同它们相联系在一起在场院组成的基本环境单元。院落环境是在居室的基础上发展起来的,它的结构、布局、规模和现代化程度是很不相同的。它可以具有防震、防噪声和自动化空调设备的现代化住宅。它不但具有明显的时代特征,而且有显著的地方色彩。它是人类在发展过程中,适应生产和生活的需要,因地制宜创造出来的。院落环境又可分为城市院落环境和农村院落环境。城市院落环境中又可分成生活院落和工作院落。在城市居民的居室附近,为居民生活而设置的院落,叫生活院落。在工作单位为工作而开辟的院落,叫工作院落环境。农村院落环境,则集中生活院落环境与工作院落环境于一身的院落环境。既是农村居民休息、游乐场所,也是为居室提供通风、采光条件,还兼有一些生产任务的功能。村落环境主要是农业人口聚居的地方。由村落、农业区、自然环境及乡镇企业四个部分组成。这四部分各有特点,互相渗透,互相依存,形成乡村环境有机整体。由于自然条件不同,农业生产活动的种类、规模、现代化程度的不同,村落的结构、形态、规模、功能是多种多样的。城市环境是人类利用和改造自然环境而创造出来的高度人工化、社会化的环境。它是从事工业、商业和交通事业等非农业人口聚居的地方。聚落环境为人类创造了方便、舒适、安全、健康的工作、生活环境,是人口密集、生产发达和生活活动频繁的場所,所以,一直作为防治环境污染的重点。

#### 1.1.2.2 区域环境

区域环境是包括人工环境在内的占有一定地域空间的自然环境。区域的范围可大可小,区域内环境结构、特点、功能也千差万别。以自然环境为主体的区域环境有森林、草原、沙漠、冰川、海洋、湖泊、河流、山地、平原等多种类型。它们主要是地球自身长期

演变发展的结果。当然也会在人类活动的影响下,发生一定程度的变化;以人工环境为主体的区域环境有城市、农村、工业区、旅游区、开发区等多种类型。它们分别构成一个个独特的人类生态系统。现实社会中,区域环境往往兼具两者的特点,是一种结构复杂,功能多样的环境,由于解决环境的问题,关键在于人类的社会活动,因此,区域环境主要是按社会的经济结构和行政体系来划分的。

### 1.1.2.3 全球环境

全球环境又称地球环境。范围包括大气圈中的对流层和平流层的下部、水圈、土壤岩石圈和生物圈。它是人类生活和生物栖息繁衍的场所,是向人类提供各种资源的场所,也是不断受到人类活动改造和冲击的空间。

### 1.1.2.4 宇宙环境

宇宙环境指的是大气层以外的环境。它是人类生存环境的最外圈部分,即大气层以外的宇宙空间。这是人类活动进入大气层以外的空间和地球邻近的天体的过程中提出来的概念,也称空间环境。

无论从何种角度,进行环境分类,环境都具有共同的特性。首先,环境是一个以人类社会为主体的客观物质体系,对人类社会的生存和发展,它既有依托作用,又有限制作用,因此,有合适与否,或优劣之分。其次,环境是一个有机的整体,不同地区的环境由其若干个独立组成部分(环境要素),以其特定的联系方式构成一个完整的系统。环境还具有明显的区域性、变动性特征,区域性在于各个不同层次或不同空间的地域,其结构方式、组成程度、能量物质流动规模和途径、稳定性程度等都具有相对的特殊性,从而显示出区域特征。环境的变动性是指在自然和人类社会行为的共同作用下,环境的内部结构和外在状态始终处于不断变化的过程中。当人类行为作用引起的环境结构与状态的改变不超过一定限度时,环境系统的自动调节功能可以使这些改变逐渐消失,使结构和状态恢复原有的面貌。也就是说,人类通过自己的社会行为可以促进环境的定向发展,也可能导致环境的退化。

## 1.1.3 环境系统

### 1.1.3.1 环境要素

环境要素是指构成人类环境整体的各个独立的、性质不同的而又服从整体演化规律的基本因素。人们一般把环境要素分为自然要素和社会环境要素两大类。通常指的环境要素是自然环境要素。环境要素包括水、大气、岩石、生物、阳光和土壤等。环境具有一些重要的特点,这些特点不仅制约着各个环境要素之间互相联系、互相作用的基本关系,而且还是认识环境、评价环境、改造环境的基本依据。这些特点主要有:

(1) 最小限制律。这个规律是19世纪德国化学家李比希(Liebig)提出的,并为20世纪初英国科学家布莱克曼(Blackman)进一步发展而使之完善的。该定律指出:“整体环境的质量,不能由环境诸要素的平均状态决定,而是受环境诸要素中那个与最优状态差距最大的要素所控制”。就如在“木桶原理”中,那块最短的木板决定这个木桶的装水量。环境质量的好坏取决于诸要素中处于“最低状态”的那个要素,而不能用其余处于良好状态的环境要素去替代,去弥补,也不能由环境诸要素的平均状况去决定。根据这个

规律,人类在改造自然和改进环境质量时,就应该首先对环境诸要素的优劣状态进行数值分类,按照由劣到优的顺序,依次改造每个要素,从而使整个环境的质量得到显著的改善。

(2) 等值性。等值性同最小限制律有着密切的联系。各个环境要素对于环境质量的限制作用,无论任何一个要素本身在规模上或数量上没有什么差异,只要它们是处于最劣状态时就具有等值性。

(3) 环境整体性大于环境诸要素的个体之和。即一个环境的性质并不等于组成这个环境的各个要素性质的叠加之和,这是因为环境诸要素组成一个环境时,必然会发生相互作用,导致质的变化。

(4) 环境诸要素具有互相联系、互相作用和互相制约的特点。虽然在地球演化史上,各个环境要素不是同时出现的,但是,每一个新的要素的产生,都会给环境整体带来很大的影响,体现出环境诸要素的上述特点。而这些特点是通过能量流动在各个要素之间的传递,或以能量形式在各个要素之间的转换来实现的。岩石圈的形成成为大气圈的出现提供了条件;岩石圈和大气圈的存在,又为水圈的产生提供了条件;岩石圈、大气圈和水圈孕育了生物圈,而生物圈又会影响岩石圈、大气圈和水圈的变化。

### 1.1.3.2 环境系统构成

环境要素组成环境的结构单元,环境的结构单元又组成环境整体或环境系统。如水组成水体,全部水体总称为水圈。大气组成大气层,全部大气层总称大气圈;由土壤构成农田、草地和林地等,由岩石构成岩体,全部岩石和土壤构成的固体壳层称为岩石圈;由生物体组成生物群落,全部生物群落集称为生物圈。阳光提供辐射能为其他要素所吸收。各个环境要素之间可以相互利用,并因此而发生演变,其动力主要是依靠来自地球内部放射性元素所产生的内生能,及以太阳辐射能为主的外来能。

环境系统概念的提出,其意义是把人类环境作为一个统一的整体看待,避免人为地把环境分割为互不相关的支离破碎的各个组成部分。环境系统的内在本质在于各种环境因素之间的相互关系和相互作用过程。揭示这种本质,对于研究和解决当前许多环境问题有重大的意义。

### 1.1.3.3 环境系统稳定性

环境系统是具有一定调节能力的系统,对来自外界比较小的冲击能够进行补偿和缓冲,从而维持环境系统的稳定性。

环境系统的稳定性在很多情况下取决于环境因素与外界进行物质交换和能量流动的容量。即环境容量,又称环境负载容量、地球环境承载容量或负荷量,是在人类生存和自然生态系统不致受害的前提下,某一环境所能容纳的污染物的最大负荷量。或一个生态系统在维持生命机体的再生能力、适应能力和更新能力的前提下,承受有机体数量的最大限度。容量越大,调节能力也越大,环境系统也愈稳定;反之,就不稳定。在地球环境系统中,海洋、土壤和植被是最巨大的调节系统,对于维护环境系统的稳定有巨大作用。海洋的巨大热容量,调节着地表的温度,使之不致发生剧烈变化。海洋又是  $\text{CO}_2$  的巨大储存库。海水中  $\text{CO}_2$  与大气中  $\text{CO}_2$  进行交换,处于动态平衡,因此海洋能使大气中的  $\text{CO}_2$  的浓度保持稳定,从而保持地表层热量的稳定。土壤是陆地表面的疏松多孔体,又是一个胶体系统,对于植物所需的水分和养分有强大的吸收和释放能力。表土一旦丧失,土地肥力就

急剧下降。植被通过根系和残落物层吸收水分和叶子的蒸腾作用,调节地面水分和热量,使气候稳定。在生态系统中,构成群落的生物种类愈是多样化,食物链和食物网愈复杂,生态系统也就愈稳定。由此可见,人类干预环境系统的活动,如任意缩小水域面积,滥加垦殖,毁坏植被,消灭野生生物或任意引进新种,就会破坏环境中的稳定因素,降低环境抗御自然灾害的能力。

环境中也存在着某些不稳定因素,对外来的影响比较敏感。在一定的条件下,某个关键性因子发生小的变化,可能触发内在的反馈机制,引起一系列链式反应,对整个环境系统造成无法挽救的严重后果。例如,极地海冰就被认为是一个不稳定因素,因为它有巨大的反照率,吸收阳光的能力比陆地和海洋小得多,对温度变化很敏感。如果温度稍微降低(特别是夏天),海冰面积便会向赤道方向扩展。海冰面积的扩大,又将反射更多的阳光,使地球接受的热量减少。如果地球进一步降温,海冰面积就继续扩展,直到赤道为止。

迄今为止,人类还未完全了解环境系统中许多错综复杂的机制,还未能建立精确的模式来揭示环境因素间的微妙平衡关系。人类仍然自觉与不自觉地不断破坏环境系统的平衡。例如人们在使用氯氟烃(通称氟利昂)时,没有想到它会破坏大气臭氧层的稳定,这个问题直到20世纪70年代中期才引起注意。

#### 1.1.3.4 人类和环境系统

原始人作为环境系统中的一个组成部分,对环境的影响并不比其他动物大。随着劳动工具的改进,特别是火的发现和利用,人类开始对环境产生重大影响。在更新世时期许多大型哺乳动物的灭绝与人类的滥行捕杀有关,撒哈拉沙漠在冰期后的扩大同过度放牧有关,有人认为非洲稀疏的草原是原始人年复一年纵火烧荒的结果。在人类历史上,由于人类不合理利用自然而引起自然无情报复的例子是不胜枚举的。随着技术的进步,人类对环境的影响越来越深刻。例如,受利益因素影响,海南原始生态林遭到破坏的情况时有发生,生态系统变得脆弱不堪;物种生长环境退化,生物种群数量及分布也会随之发生变化;人口增长、污染物大量排放、水土流失和海岸侵蚀的加剧,致使局部区域的环境质量呈下降趋势;而人为的乱捕滥猎、乱砍滥伐,也危及了生物物种安全。从环境系统演化历史来看,旧平衡的破坏,新平衡的建立是历史发展的正常规律,环境系统始终处于动态平衡之中。人类为谋求生存和发展,就会不断改造自然,打破原有的平衡,并企图建立新的平衡。但人类在改造自然的过程中,常常由于盲目或受到科学技术水平的限制,未能收到预期的效果,甚至得到相反的结果。一种设计往往对此地有利,而对另一地方有害;或者是短期有利,长期不利。例如英国、德国等国利用高烟囱扩散工业废气二氧化硫( $\text{SO}_2$ ),结果 $\text{SO}_2$ 飘送到斯堪的纳维亚半岛,并与雨水结合形成酸雨,严重危害当地生态系统。当前人类还未弄清楚自然界各种复杂因素之间的相互关系,因此对于一些巨大的改变自然的工程,如水库的建造,河流的改道,大面积的垦荒,工业和交通建设等,都要谨慎从事,考虑到各种可能发生的后果,做出环境影响评价。

合理利用和改造人类环境,防止不良后果,要做好环境系统的研究。研究重点是:(1)存在于各环境因素之间,各圈层之间,有机界与无机界之间的相互作用,能量的流动,物质的交换、转化和循环。(2)环境系统中的平衡关系,反馈机制,自我调节能力,环境容量,环境系统的稳定性和敏感性。(3)人为活动对环境的影响。这些研究,涉及许多学科领域,也是环境科学的中心任务之一。

### 1.1.4 环境质量

#### 1.1.4.1 环境质量含义

环境质量是环境系统客观存在的一种本质属性，可以用定性和定量的方法，加以描述的环境系统所处状态。是在一个具体的环境中，环境的总体或环境的某些要素，对人群的生存和繁衍以及社会经济发​​展的适宜程度，是反映人类的具体要求而形成的对环境评定的一种概念。

在一个特定的、具体的环境中，环境不仅在总体上，而且在环境内部的各种要素都会对人群产生一些影响。因此，环境对人群的生存和繁衍是否适宜，对社会经济发展是否适宜，适宜程度怎么样等等，都反映了人对环境的具体要求，于是就产生了人对环境的一种评价。从这种意义上来说，环境质量优劣是根据人类的某种要求而定的。我们所说的环境有很多类，比如我们评价一个地方的环境时，不仅仅要考虑这个地方的气候、绿化程度、工厂布置等，还要考虑这个地方的经济文化发展程度及美学状况。环境质量也分为自然环境质量和社会环境质量。

自然环境质量根据环境要素的不同又可分为大气环境质量、水环境质量、土壤环境质量、生物环境质量等。自然环境质量根据性质可分为物理环境质量、化学环境质量、生物环境质量及社会环境质量。

物理环境质量是用来衡量周围物理环境条件的，比如自然界气候、水文、地质地貌等自然条件的变化，反射性污染、热污染、噪声污染、微波辐射、地面下沉、地震等自然灾害等。

化学环境质量是指是否产生化学物质环境质量的影响，如果周围的重污染工业比较多，那么产生的化学物质就多一些，产生的污染比较严重，化学环境质量就比较差。

生物环境质量可以说是自然环境质量中最主要的组成部分，鸟语花香是人们最向往的自然环境，生物环境质量是针对周围生物群落的构成特点而言的。不同地区的生物群落结构及组成的特点不同，其生物环境质量就显出差别，生物群落比较合理的地区，生物环境质量就比较好，生物群落比较差的地区生物环境质量就比较差。

社会环境质量主要包括经济、文化和美学等方面的环境质量。由于各地发展的程度不同，社会环境质量有明显的差异。同时随着科学的发展，人类将不断地改变着周围的环境质量，环境质量的变化又不断地反馈于人，人和环境的关系犹如鱼和水、子与母，人类要善待环境，尊重自然环境，创造更好的社会环境。

#### 1.1.4.2 环境质量评价

环境是由各种自然环境要素和社会环境要素所构成，因此环境质量包括环境综合质量和各种环境要素的质量。而各种环境要素的优劣，都是根据人类各种要求而进行评价的。所以环境质量又是同环境质量评价联系在一起的，即确定具体的环境质量要进行环境质量评价；而评价的结果就表征了环境质量。所以环境质量评价是确定环境质量的手段、方法，环境质量则是环境质量评价的结果。在环境的研究与开发、利用中，人类要确定环境质量就必须进行环境质量评价，要进行评价就必须有标准，这样就产生各类环境质量评价标准。由于环境质量是依据人类的各种要求来评价的，所以环境质量标准也依不同的要求而有许多种。可见，环境质量和环境质量标准是不能分开的。

## 1.2 环境问题

### 1.2.1 环境问题概念

什么是环境问题?广义理解即为由自然力或人力引起生态平衡破坏,最后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。环境科学研究的环境问题主要集中于人类的生产和生活活动所引发使自然生态系统失去平衡,反过来影响人类生存和发展的各类环境问题。

环境问题多种多样,归纳起来有两大类:一类是自然演变和自然灾害引起的原生环境问题,也叫第一环境问题,如地震、洪涝、干旱、台风、崩塌、滑坡、泥石流等。另一类是人类活动引起的次生环境问题,也叫第二环境问题。次生环境问题一般又分为生态破坏和环境污染两大类。生态破坏是指人类活动直接作用于自然生态系统,造成生态系统的生产能力显著减少和结构显著改变,从而引起的环境问题,如乱砍滥伐引起的森林植被的破坏、过度放牧引起的草原退化、大面积开垦草原引起的沙漠化和土地沙化主要由于生态环境破坏引发的环境问题;环境污染则指人类活动的副产品和废弃物进入物理环境后,对生态系统产生的一系列扰乱和侵害,特别是当由此引起的环境质量的恶化反过来又影响人类自己的生活质量。环境污染不仅包括物质造成的直接污染,如工业“三废”和生活“三废”,也包括由物质的物理性质和运动性质引起的污染,如热污染、噪声污染、电磁污染和放射性污染。由环境污染还会衍生出许多环境效应,例如二氧化硫造成的大气污染,除了使大气环境质量下降,形成酸雨,还会影响水和土壤环境质量。目前人们所说的环境问题一般是指次生环境问题。应当注意的是,原生环境问题和次生环境问题往往难以截然分开,它们之间常常存在着某种程度的因果关系和相互作用。

### 1.2.2 环境问题产生与发展

环境问题古已有之,它是随着人类社会的出现,生产力的发展和人类文明的提高而相伴产生。并由小范围、低程度危害发展到大范围、对人类生存造成不容忽视的危害。根据环境问题发生的先后和轻重程度,可大致分为三个阶段。

#### 1.2.2.1 环境问题的产生与生态环境早期破坏

人类出现以后直至产业革命的漫长时期,又称早期环境问题。

在农业文明以前的整个远古时代,人类以渔猎和采集为主,人口数量极少,生产力水平极低,人类活动范围小和能力上的相对弱小,对自然环境的干预甚微,对环境的干扰基本处于自然系统自发调节范围之内。当时的问题主要是人类适应环境的问题,人类仅处于简单的适应环境阶段。

从农业文明时代开始,人类掌握了一定的劳动工具,具备了一定的生产能力,在人口数量不断增加的情况下,对自然的开发利用强度也在不断加大。为了获取更多的生活资料,人们开垦耕地,把许多森林草原等植被破坏,使地球表面裸露出大片黄土地。出现了如:地力下降,土壤盐碱化、水土流失,甚至河道淤塞、改道和决口等主要环境问题。这是环境问题出现的“第一次浪潮”,核心是生态破坏问题,这些环境问题危及人类生存,

迫使人们经常地迁移、转换栖息地，有的甚至酿成了覆灭的悲剧，19世纪强大的巴比伦王国的消失，就是盲目开垦草原，滥伐森林，使生态环境恶化、草原退化为荒漠的结果。但这时的环境问题还只是局部的、零散的问题，还没有上升为影响整个人类社会生存和发展的问題。

### 1.2.2.2 城市环境问题突出和“公害”加剧

从产业革命到1984年发现南极臭氧空洞止，又称近代城市环境问题阶段。从英国产业革命以来，科学技术水平突飞猛进，人口数量急剧膨胀，经济实力空前提高，各种机器、设备竞相发展，在追求经济增长的驱使下，人类对自然环境展开了大规模的前所未有的开发利用，大规模地改变了环境的组成和结构，从而也改变了环境中的物质循环系统，带来了新的环境问题，一些工业发达的城市和工矿区的工业企业，排出大量废物污染环境，天空黑烟弥漫，水体乌黑发臭，矿山黑迹斑斑，使环境污染事件不断发生。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；19世纪后期，日本足尾铜矿区排出的废水污染了大片农田；1930年12月，比利时马斯河谷工业区由于工厂排出的有害气体，在逆温条件下造成了严重的大气污染事件。如果说农业生产主要是生活资料的生产，它在生产和消费中所排放的“三废”可以纳入物质的生物循环而能迅速净化、重复利用的话，那么，工业生产除生产生活资料外，还大规模地进行生产资料的生产。大量深埋地下的矿物资源被开采出来，并加工利用投入环境之中。许多工业产品在生产和消费过程中排放的“三废”都是生物和人类所不熟悉，且难以降解、同化和忍受。总之，大机器生产、大工业的日益发展，环境问题也随之发展且逐步恶化。环境问题的高潮出现在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连接不断，1952年12月的伦敦烟雾事件、1953~1956年的日本水俣病事件、1961年的四日市哮喘病事件、1955~1972年的骨痛病事件等曾使成千上万的人直接死亡。环境问题“第二次浪潮”来袭，而这个阶段的环境问题的核心是环境污染。如表1-1列出的震惊世界的八大污染事件就是在这个阶段发生的。

表 1-1 震惊世界的八大污染事件

事件名称	时间、地点	污染源及现象	主要危害
马斯河谷事件	1930年12月，比利时马斯河谷工业区	二氧化硫、粉尘蓄积于空气中	约60人死亡，数千人患呼吸道病症
洛杉矶烟雾事件	1943年美国洛杉矶	晴朗天空出现蓝色刺激性烟雾，主要是汽车尾气经光化学反应形成	眼红、喉痛咳嗽等呼吸道疾病
多诺拉烟雾	1948年美国宾夕法尼亚多诺拉镇	炼锌、钢铁、硫酸等工厂排放的废气蓄积于山谷中	死亡10多人，患病约6000人
伦敦烟雾	1952年12月英国伦敦	二氧化硫、烟尘在一定条件下形成刺激性烟雾	呼吸道疾病，死亡400多人
四日市气喘病	1955年日本四日市	炼油厂排放废气	500多人患哮喘病，死亡30多人
富士山骨痛病	1955年日本富士山县神通川	锌冶炼厂排放的含镉废水	骨痛病患者200多人，多人因不堪痛苦而自杀