

环境化工技术 及应用

朱慎林 朴香兰 赵毅红 编著



化学工业出版社
环境科学与工程出版中心

环境化工技术及应用

朱慎林 朴香兰 赵毅红 编著

化学工业出版社

环境科学与工程出版中心

·北京·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

环境化工技术及应用/朱慎林, 朴香兰, 赵毅红编著.
北京: 化学工业出版社, 2003.1
ISBN 7-5025-4332-5

I. 环… II. ①朱…②朴…③赵… III. 化学工业-无污染技术 IV. X78

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 000947 号

环境化工技术及应用

朱慎林 朴香兰 赵毅红 编著

责任编辑: 董琳 管德存

文字编辑: 刘莉珺 邹宁

责任校对: 凌亚男

封面设计: 张昊

*

化学工业出版社 出版发行

环境科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010)64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京市彩桥印刷厂印刷

三河市延风装订厂装订

开本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 17¼ 字数 421 千字

2003 年 2 月第 1 版 2003 年 2 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-4332-5/TQ·1666

定 价: 38.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

内 容 提 要

化学工程是一个重要的学科，是由很多单元操作组合而成的。作为应用基础技术，化学工程逐渐向其他学科渗透，尤其在环境工程中的应用越来越广，环境化工技术也应运而生。环境化工技术是灵活运用化工技术来解决环境污染治理问题的一门交叉学科。本书着重介绍环境化工中所应用的各种单元操作的基本原理，并以环境污染治理中用到的大量实例加深对环境化工技术的理解。本书共有 11 章，分别是扩散传质技术及其在生态环境中的应用、非均相分离技术及其应用、结晶技术及其在水处理中的应用、精馏技术及其在废水处理中的应用、吸收技术及其在气体净化中的应用、萃取技术及其在废水处理中的应用、吸附技术及应用、膜分离技术及应用、泡沫分离技术及其在废水处理中的应用、化学反应技术及应用、化工技术在环境危险评价中的应用。

本书可供从事环境工程、化学工程、应用化学、生物化工和能源工程等专业技术、科研人员参考，也可以作为高等学校相关专业师生参考用书。

前 言

人口、资源、环境是当今社会持续发展面临的三大问题,人类在创造社会文明的同时,也不断地破坏人类赖以生存的环境空间。经济的高速发展付出了沉重的环境代价,如全国每年工业废气排放总量达 6200 亿立方米,还不包括生活燃煤烟气和汽车尾气排放;全国每年排放污染水量达 400 亿吨,其中工业废水排放达 260 亿吨,全国每年工业废弃物排放量达 7.8 亿吨;全国大多数大、中城市噪声污染超标和电磁波污染严重地危害人们身体健康。人口膨胀、自然资源的不合理开发利用以及“三废”的大量排放,造成生态环境的恶化和自然生态的失衡,包括干旱、洪水、沙漠化、荒漠化、酸雨、温室效应、地球臭氧层的破坏等等,这一切给人类自身的健康和生活质量以及人类社会的地球环境带来严重影响,甚至危害人类未来的生存,因此对环境污染的防治是实现可持续发展的重大课题。

当前治理环境污染采用的是末端治理方法,即针对工厂生产排出的废弃物,如废水、废气、废渣等进行治理。在治理环境污染中关心的是排污口污染物的处理,在处理时将污染物脱除或者转化达到排放要求。环境治理技术主要包括生物法和各种物理化学法,这些方法是基于化学工程的基本单元操作实现的,包括沉淀、过滤、结晶、蒸馏、吸收、萃取、吸附、膜分离、浮选等,这些单元操作可称之为环境化工技术,是化学工程技术在环境污染治理中的应用。本书着重介绍环境化工中所应用的各种单元操作的基本原理,并以环境污染治理中所用到的大量实例加深对环境化工技术的理解,本书的出版对关心和从事环境污染治理的工作者将起到一定的参考作用。

本书参考、引用了同行的大量文献资料,在此谨向他们致以诚挚的谢意,限于篇幅,编者将被引用的书名和其他文献列在参考文献中,不再一一详细地罗列被引用的出处。参加本书编写的人员还有张景涛、蔡卫滨、李志东、杨全、王文、缙泽明、金卫东、翁干友、张绍宁、于梦蛟、杨微及樊蓉。

随着新型技术的开发,环境化工技术也将不断发展,限于作者的知识水平,书中难免有不当甚至错误之处,希望专家同行和广大读者批评指正。

编著者

2002 年 8 月于清华大学

目 录

第 1 章 扩散传质技术及其在生态环境中的应用	1
1.1 质量守恒定律	1
1.1.1 质量守恒定律的基本方程式	1
1.1.2 物料衡算方程的基准	2
1.2 能量守恒定律	2
1.3 地球变暖	3
1.3.1 地球变暖过程的计算	3
1.3.2 温室气体对地球气候的影响	4
1.3.3 地球变暖的危害	6
1.3.3.1 自然生态系统的变化	6
1.3.3.2 对农业的影响	6
1.3.3.3 海平面上升	6
1.3.3.4 对人类的影响	6
1.3.4 防止地球变暖的对策	7
1.4 扩散传质原理	7
1.4.1 污染的扩散方程	8
1.4.2 大气污染	8
1.4.2.1 大气污染物的扩散模式	9
1.4.2.2 大气污染防治	14
1.4.3 河流的污染与净化	15
1.4.3.1 河流水质污染模型	17
1.4.3.2 水污染防治	19
1.5 守恒定律与扩散定律的应用实例	20
第 2 章 非均相分离技术及其应用	28
2.1 沉降分离的基本原理	28
2.1.1 颗粒粒度的表示	28
2.1.1.1 颗粒的当量直径	29
2.1.1.2 颗粒的形状系数	29
2.1.2 流体流过球形颗粒	30
2.1.3 颗粒在流体中的运动	31
2.1.3.1 重力沉降	31
2.1.3.2 离心沉降	31
2.1.3.3 静电沉降	32
2.1.4 沉降分离过程设计	32
2.1.4.1 理想的平推流型重力沉降装置(理想的沉淀池)	32

2.1.4.2 连续沉降浓缩装置·····	33
2.1.4.3 其他沉降设备简介·····	37
2.2 过滤的基本原理·····	37
2.2.1 过滤介质·····	38
2.2.2 助滤剂·····	38
2.2.3 过滤的分类·····	38
2.2.4 过滤理论·····	39
2.2.5 过滤设备·····	40
2.2.5.1 过滤装置分类及性能·····	40
2.2.5.2 固液分离机械的选型·····	41
2.3 除尘的基本原理·····	44
2.3.1 大气污染物在呼吸道上的沉淀·····	45
2.3.2 除尘操作·····	46
2.3.2.1 重力沉降室·····	47
2.3.2.2 旋风分离器·····	49
2.3.2.3 电除尘·····	51
2.3.2.4 袋滤器(滤布式过滤除尘装置)·····	53
2.3.2.5 惯性分离器·····	54
2.3.3 二噁英类物质排放的控制·····	54
2.4 非均相分离技术的应用实例·····	58
第3章 结晶技术及在水处理中的应用 ·····	66
3.1 前言·····	66
3.2 结晶成长理论·····	67
3.2.1 结晶的生长·····	67
3.2.2 扩散理论·····	67
3.2.3 晶核的形成·····	69
3.2.4 结晶过程中物料和热量衡算·····	69
3.2.5 ΔL 定律·····	70
3.2.6 由全混结晶装置测定结晶成长速度·····	70
3.3 结晶设备及技术·····	71
3.3.1 结晶方法·····	71
3.3.2 结晶设备·····	73
3.3.3 结晶器的设计·····	73
3.4 结晶技术的应用实例·····	74
第4章 精馏技术及在废水处理中的应用 ·····	80
4.1 前言·····	80
4.2 蒸馏的基本原理·····	80
4.2.1 气液相平衡的分类·····	80
4.2.2 气液平衡关系的表达·····	81
4.2.3 简单蒸馏·····	82

4.2.4 精馏的基本原理	83
4.2.4.1 两组分体系连续精馏的计算	84
4.2.4.2 McCabe-Thiele 图解法	86
4.2.4.3 加料位置	86
4.2.4.4 回流比的计算	86
4.2.4.5 简捷法求理论板数	87
4.2.4.6 塔板效率的计算	87
4.3 精馏塔的设计	89
4.3.1 塔径计算	90
4.3.2 液泛的校验	91
4.3.3 液沫夹带校核	91
4.3.4 漏液点的校核	91
4.3.5 压降	92
4.3.6 降液管内的停留时间	92
4.3.7 精馏塔设计步骤	93
4.4 特殊蒸馏简介	93
4.4.1 萃取精馏	93
4.4.2 间歇精馏	94
4.4.3 恒沸精馏	94
4.4.4 加盐精馏	94
4.4.5 水蒸气蒸馏	95
4.4.6 反应蒸馏	95
4.4.7 分子蒸馏	95
4.5 精馏技术在水处理中的应用实例	95
第5章 吸收技术及其在气体净化中的应用	108
5.1 前言	108
5.2 吸收过程的基本原理	111
5.2.1 气液平衡	111
5.2.2 气体吸收理论	111
5.2.2.1 双膜理论	111
5.2.2.2 其他传质理论	113
5.3 吸收装置的工艺设计	114
5.3.1 吸收过程的工艺设计	114
5.3.2 物理吸收塔的设计	117
5.3.3 反应吸收塔的设计	122
5.3.3.1 反应吸收理论	122
5.3.3.2 反应吸收装置的设计	125
5.4 吸收技术在环保中的应用实例	127
第6章 萃取技术及在废水处理中的应用	133
6.1 前言	133

6.2 液液萃取过程的基本原理	133
6.2.1 液-液相平衡关系	133
6.2.2 单级萃取过程的计算	134
6.2.2.1 萃取剂与原溶剂部分互溶的体系	135
6.2.2.2 萃取剂与原溶剂不互溶的体系	136
6.2.3 多级萃取	136
6.2.3.1 多级错流萃取	136
6.2.3.2 多级逆流萃取	137
6.3 萃取设备	138
6.4 萃取技术的开发	140
6.4.1 溶剂选择	141
6.4.1.1 物理溶解萃取过程的溶剂选择	141
6.4.1.2 反应萃取过程的溶剂选择	142
6.4.2 中试	143
6.4.2.1 物理溶解萃取工艺的中试	143
6.4.2.2 反应萃取工艺的中试	144
6.4.3 设备放大	144
6.4.4 萃取技术的应用	144
6.5 萃取技术在废水处理过程中的应用实例	147
第7章 吸附技术及应用	150
7.1 前言	150
7.2 吸附平衡	153
7.2.1 气相吸附等温线方程	154
7.2.2 液相吸附等温线方程	155
7.3 吸附设备设计	156
7.3.1 吸附塔的设计	156
7.3.1.1 吸附过程的基本原理	157
7.3.1.2 穿透曲线与传质区	158
7.3.2 吸附设备简介	160
7.3.2.1 固定床吸附器	160
7.3.2.2 移动床吸附设备	160
7.3.2.3 流化床吸附器	160
7.3.2.4 模拟移动床	161
7.3.3 吸附剂的再生	162
7.4 吸附技术的应用实例	162
第8章 膜分离技术及应用	166
8.1 前言	166
8.2 膜分离过程的基本原理	166
8.2.1 膜的种类	166
8.2.2 膜分离过程	167

8.2.3	膜分离原理	168
8.2.3.1	反渗透	168
8.2.3.2	气体分离	171
8.2.3.3	电渗析	173
8.3	膜组件简介	175
8.4	膜分离过程的应用	176
8.4.1	反渗透	176
8.4.1.1	反渗透过程中使用的膜	176
8.4.1.2	反渗透膜组件	177
8.4.1.3	反渗透工程的设计	177
8.4.1.4	反渗透过程的应用	178
8.4.2	气体分离	178
8.4.2.1	气体分离膜	178
8.4.2.2	气体分离膜组件	179
8.4.2.3	气体膜分离过程的工业应用及其经济性分析	179
8.4.3	电渗析	180
8.4.3.1	离子交换膜	180
8.4.3.2	电渗析的应用	181
8.5	膜分离技术的应用实例	181
第9章	泡沫分离技术及在废水处理中的应用	185
9.1	前言	185
9.2	泡沫分离过程的基本原理	185
9.2.1	泡沫分离操作	185
9.2.2	疏水性与浮选	185
9.2.3	浮选系统中气泡的形成	186
9.2.4	固体颗粒尺寸与浮选能力	186
9.2.5	气泡-颗粒的聚集	186
9.2.6	浮选剂	187
9.2.7	吸附平衡、吸附速度	187
9.3	泡沫分离设备	188
9.4	鼓泡分离技术在废水处理中的应用实例	189
第10章	化学反应技术及应用	192
10.1	前言	192
10.2	反应速度理论	193
10.2.1	反应热力学	193
10.2.2	均相反应速度方程	193
10.2.2.1	化学反应速度的定义	193
10.2.2.2	反应速度常数	194
10.2.2.3	等温恒容过程	195
10.2.2.4	等温变容过程	198

10.2.3 生化反应过程动力学	199
10.2.3.1 均相酶催化反应得 Michaelis-Menten 方程	199
10.2.3.2 细胞生长、产物生成及底物消耗动力学	201
10.2.4 生物补救法	202
10.3 反应器理论	203
10.3.1 间歇操作反应器	203
10.3.1.1 等温操作	203
10.3.1.2 非等温操作	204
10.3.2 半间歇操作反应器	205
10.3.3 全混反应器(Completely Mixed Flow Reactor)	206
10.3.3.1 等温操作	206
10.3.3.2 非等温操作	207
10.3.3.3 多级全混反应器的设计	208
10.3.3.4 带循环的全混反应器的设计	208
10.3.4 活塞流反应器(Piston Flow Reactor;PFR)	210
10.3.4.1 等温操作反应器的设计	210
10.3.4.2 非等温平推流反应器的计算	210
10.3.4.3 平推流反应器的串联、并联或并串联	211
10.3.4.4 全混和平推流的比较	212
10.4 非理想流动模型	212
10.4.1 混合模型:混合扩散模型、串级模型	213
10.4.1.1 混合扩散模型	213
10.4.1.2 串级模型	215
10.4.2 组合模型	215
10.5 催化反应	218
10.5.1 催化反应动力学	218
10.5.2 有效扩散系数	218
10.5.3 有效系数	219
10.5.4 固定层催化反应器的设计	221
10.6 化学反应技术的应用实例	222
第 11 章 化工技术在环境危险评价中的应用	241
11.1 前言	241
11.2 环境危险评价理论	241
11.2.1 环境问题中重要的物理化学参数的定义	241
11.2.2 致癌危险评价	245
11.2.3 非致癌性危险	247
11.2.4 生物富集作用	247
11.3 危险评价理论的应用实例	248
附录 程序	253
参考文献	262

第 1 章 扩散传质技术及其在生态环境中的应用

土壤、水、空气及生物是组成生态环境的四个主要组成部分，其每一部分都包括三个相态——固态、液态、气态，当温度、机械力、浓度等没有达到平衡时，环境系统中会发生传递现象。不同相态之间的传质可通过气-液、液-固、气-固扩散系数计算，同一相内的传质可通过分子扩散系数计算，而且传质过程可分为对流扩散、湍流扩散、分子扩散。环境各组成部分之间的扩散与传递如图 1-1。

扩散传质是化工单元操作中最常用的技术，在传质过程中往往还遇到能量传递现象，支配传递行为的是守恒定律和扩散定律，在生态环境保护中首先会遇到这一类最基本的问题。通过质量守恒定律可对污染物进行量化，并通过污染物在不同介质中的传递防治污染。能量守恒定律在全球气候变化、空气污染等问题中也是必须要考虑的。

环境系统中物质和能量的转换与交换是通过一系列过程来实现的。这些过程按其性质可以分为物理过程、化学过程和生物过程三种类型。大气与海洋的环流及与此相联系的热量输送、水循环过程、地壳的垂直升降与水平推移过程均属于物理过程；岩石矿物的溶解、大洋中的碳酸盐沉积、大气中氧气的生成与消耗等均属化学过程；而动植物的生长、繁殖过程，生物之间的捕食与被捕食过程等与生命活动相联系的过程，则属于生物过程。生态系统过程是地球系统中由物理、化学或生物学规律所支配的那些现象的集合。

环境系统中的物理过程、化学过程和生物过程是有机地联系的整体。植物通过光合作用的生物过程，将太阳能和大气中的碳固定在植物体内；通过植物的呼吸作用或是植物的燃烧，固定的碳和能量又被释放到大气之中。在这个过程中，太阳能被转化为化学能，进而被转化为热能，属于物理过程；碳是以不同的无机与有机化合物间转化的方式参加循环的，属于化学过程。上述生物过程与化学过程的结合构成了生物地球化学过程。

1.1 质量守恒定律

1.1.1 质量守恒定律的基本方程式

任何一种物质都要去向某一处，这是质量守恒定律中的最简单而基本的原理，根据这一原理可以跟踪污染物在环境系统中的迁移。

系统中的质量守恒可用图 1-2 表示，根据质量守恒定律，系统的物料衡算方程为

$$\text{系统中的积累量} = \text{输入} - \text{输出} + \text{生成} - \text{消耗} \quad (1-1)$$

式 (1-1) 中生成或消耗项是由于反应而生成或消耗的量，积累项可以是正值，也可以是负值。当系统中积累项不为 0 时称为非稳态过程，积累项为 0 时称为稳态过程。稳态过程是一种理想化的概念，在实际过程中质量积累速率可能很小，然而不可能为 0，流率不可能为一个常数，而是在平均流率的上下波动，虽然如此，对积累项可以忽略时，仍以稳态过程

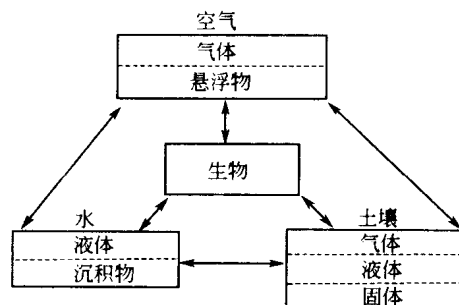


图 1-1 环境各组成部分之间的扩散与传递



图 1-2 质量守恒示意图

来表示。平衡状态就是稳态，即积累量为 0。

稳态过程的物料衡算方程为

$$0 = \text{输入} - \text{输出} + \text{生成} - \text{消耗} \quad (1-2)$$

无反应的稳态过程物料衡算方程为

$$\text{输入} = \text{输出} \quad (1-3)$$

物料衡算方程一般有总质量衡算式、组分衡算式、元素衡算式。对稳态过程，无化学反应及有化学反应时，其适用情况如下表 1-1。

表 1-1 各种物料衡算方程式的适用情况

项 目	物料平衡形式	无 反 应	有 反 应
总平衡式	总质量平衡式	是	是
	总摩尔平衡式	是	非 ^①
组分平衡式	组分质量平衡式	是	非 ^①
	组分摩尔平衡式	是	非 ^①
元素原子平衡式	元素原子质量平衡式	是	是
	元素原子摩尔平衡式	是	是

① 表示有时平衡式可能符合。

1.1.2 物料衡算方程的基准

进行物料衡算，必须选一个计算基准，并在整个运算中保持一致。若基准选得好，可使计算变得简单。

(1) 时间基准 对于连续操作过程，选用单位时间作为基准是很自然的。此时得到的物流流量可以直接与设备或管道尺寸相联系。

(2) 批量基准 对于间歇操作过程，按投入一批物料的数量为基准最方便。

(3) 质量基准 可以取一定质量的某一基准物流，然后计算其他物流的质量。基准物流可以是产品，也可以是原料或任何一个中间物流。如果选用得当，整个计算可以简化。一般取某一已知变量数最多的物流作为基准最为合适。

(4) 物质的量基准 可以取一定量的某一基准物流，然后计算其他物流的摩尔数。质量基准与摩尔基准相比，前者多用于固体或液体物料，且无化学反应的过程。由于化学反应是按当量或摩尔进行的，因此用物质的量基准更为方便。

对于气体物料还可以使用标准体积基准。

1.2 能量守恒定律

按热力学第一定律（能量守恒定律），达到稳态后，系统能量平衡方程可表示为

$$\sum_{i=1} F_i h_i + q + w = 0 \quad (1-4)$$

式中 F_i ——第 i 股物流的质量流量，进入系统取“+”，离开系统取“-”；

h_i ——第 i 股物流相对于参考状态的质量焓；

q ——对该系统施加的热流，加热取“+”，冷却取“-”；

w ——对该系统施加的非体积功流。

下面以地球变暖为例，对环境化工中的质量守恒与能量守恒进行说明。

1.3 地球变暖

1.3.1 地球变暖过程的计算

地球受太阳的辐射变暖，而且地球本身也向宇宙界放热。地球的温度由太阳的短波辐射和地球对宇宙界的长波辐射能量守恒计算来确定。地球的能量平衡如图 1-3，约 30% 的阳光被空气、云、地表反射回宇宙界（阳光反射率， $A = 0.3$ ），其余 70% 被云、大气、地表吸收。阳光为可见光，通过大气可以到达地球表面。被地表吸收的阳光由能量的过渡过程变为红外线释放（地表的温度低，为 288~291 K，因此以长波长红外线的形式释放所吸收的能量），这些红外线有一部分被大气中的水、二氧化碳等吸收，因此散热受阻使大气变暖，温室效应如图 1-4。

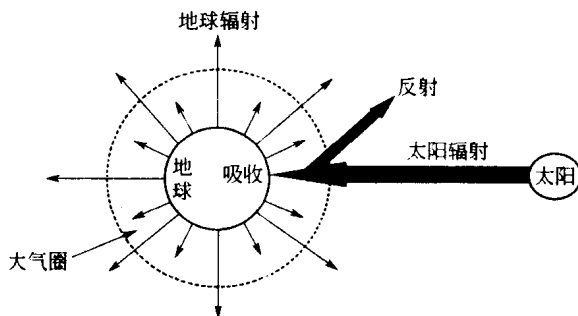


图 1-3 地球的能量平衡

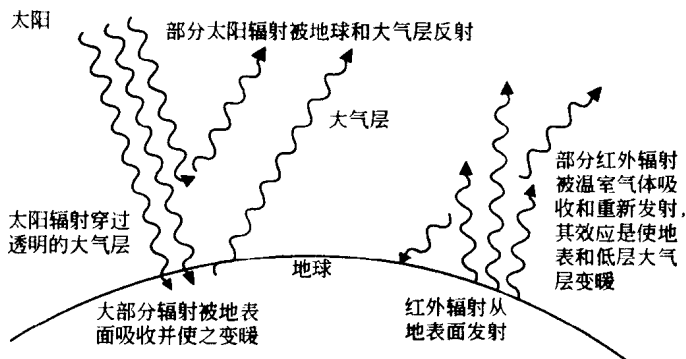


图 1-4 温室效应示意图

假设太阳是一个黑体，其温度为 5800 K，辐射波长为 $0.5 \mu\text{m}$ ，地球表面温度是 288 K，辐射波长为 $10.1 \mu\text{m}$ （如图 1-5），图 1-5 中峰面积即为总辐射能。由图 1-5 可见，太阳能到达大气圈外时波长几乎都小于 $3 \mu\text{m}$ ，而由地球辐射的能量波长均大于 $3 \mu\text{m}$ ，因此可以说太阳能是短波辐射，地球表面是长波辐射。红外线波长范围是 $0.7 \sim 100 \mu\text{m}$ ，因此一部分太阳能和所有地表辐射能是红外线辐射。

假设地球是一个黑体，即热辐射率为 1；而且是等温球体，即地球上任一点的温度相同，则由于地球表面积为 $4\pi R^2$ ，因此地球向宇宙界的辐射能量为 $4\pi R^2 \sigma T_e^4$ 。假设地球的温度不随时间变化，则

$$S\pi R^2(1 - A) = 4\pi R^2 \sigma T_e^4 \quad (1-5)$$

式中 S ——太阳辐射能；
 R ——地球半径；
 A ——辐射率；
 σ ——Stefan Boltzmann 常数；
 T_e ——地表温度。

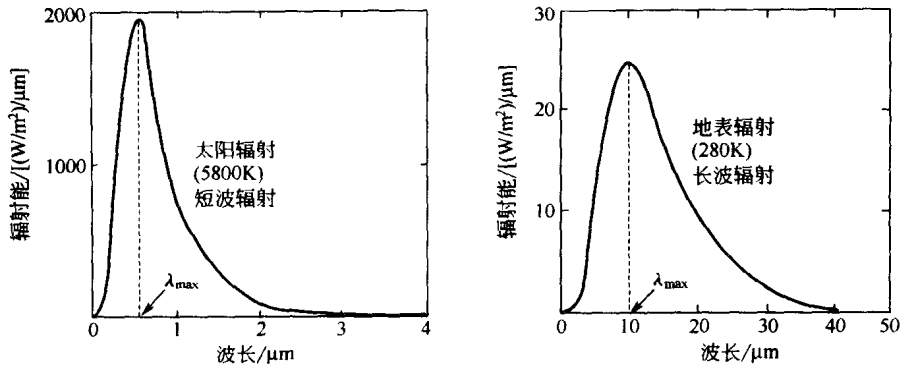


图 1-5 太阳和地球的辐射

由式 (1-5) 可得

$$T_e = \left[\frac{S(1-A)}{4\sigma} \right]^{1/4} = \left[\frac{1370 \times (1-0.30)}{4 \times 5.67 \times 10^{-8}} \right]^{1/4} = 254 \text{ K} = -19^\circ \text{C}$$

实际地表温度大约为 288 K (15 °C)，这就是温室气体吸收热量导致地球变暖的结果。

1.3.2 温室气体对地球气候的影响

当大气中的二氧化碳等红外线吸收物质的浓度增加时地表温度上升，即所谓的地球温室化。图 1-6 表示各种温室气体的吸收带，由图 1-6 可见，由地表反射的大部分长波辐射被温室气体所吸收。水蒸气是至今最重要的温室气体，它对小于 8 μm 和大于 18 μm 的波有很强的吸收，CO₂ 在 15 μm、2.7 μm、4.3 μm 有强吸收。

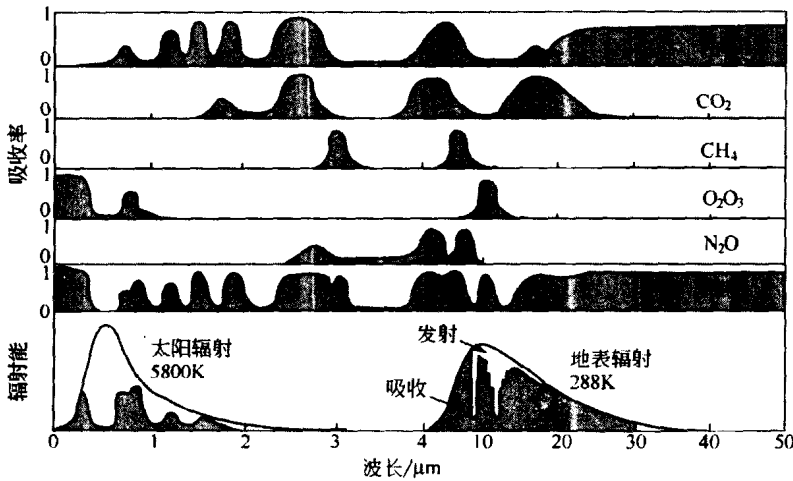


图 1-6 地球气候系统的长波辐射及温室气体的吸收带

温室气体有二氧化碳、水蒸气、氟里昂、甲烷等，温室气体虽然对短波辐射没有多大影

响，却在长波辐射的波段有较强的吸收带，对地面气候有类似温室的作用。表 1-2 为温室气体的温室效应 [温室气体浓度上升 1 ppbv (体积比, 10^{-10}) 时对温室化的贡献, 单位为 $W \cdot m^{-2}$]。如表 1-2, 二氧化碳的温室效应小, 但由于矿物燃料的燃烧和森林的砍伐, 其大气中的浓度比工业革命之前增加了 25%, 因此二氧化碳对地球温室化的人为影响最大。有人说, 二氧化碳对地球温室化的影响约 60%, 其他微量气体的影响约 40%, 但由于人类活动, 将来甲烷等高温室效应气体在大气中的含量大幅度增加, 它们对地球温室化的影响逐渐变大。氟里昂 (CFC: CCl_3F , CCl_2F_2 等) 浓度为二氧化碳的 $1/10^6$, 但人们非常重视氟里昂, 这是因为氟里昂的温室效应大, 而且氟里昂在平流层光解生成的氯或溴原子破坏臭氧层 (平流层的臭氧层吸收致皮肤癌的紫外线, 波长为 $0.28 \sim 0.31 \mu m$ 的 B 区紫外线, 而防止其到达地表, 臭氧减少时出现臭氧空洞)。温室效应气体来源和产量如表 1-3, 近年来, 根据海洋-气候耦合模式对温室气体引起增暖所作的预测研究有了很大发展, 这在国际气候变化专家委员会 (IPCC) 的 1995 年第二次报告中得到充分反映。根据这份报告, 到 20 世纪末, 考虑到大气 CO_2 浓度的增加、气溶胶的作用和气候预测模式敏感性的估计, 全球平均温度可能升高 $1.0 \sim 3.5 ^\circ C$, 最佳估计为 $2.0 ^\circ C$ 。

表 1-2 典型温室化气体的寿命、浓度、温室化能

化合物	寿命/a	浓度/ppbv		当前的年增加率 /(ppbv/a)	温室效应 ^① /($W \cdot m^{-2}$ /ppbv)
		1992	工业革命以前		
CO_2	50~200	3.58×10^5	2.80×10^5	1600	$1.8 \times 10^{-5}(1)$
CH_4	12	1720	700	10	$3.7 \times 10^{-4}(20)$
N_2O	120	312	275	0.8	$3.7 \times 10^{-3}(210)$
CCl_3F	50	0.268	0	0.000	$0.22(1.2 \times 10^4)$
CCl_2F_2	102	0.503	0	0.007	$0.28(1.6 \times 10^4)$
$CHClF_2$	12.1	0.11	0	0.005	$0.19(1.1 \times 10^4)$
SF_6	3200	0.032	0	0.0002	$0.64(3.6 \times 10^4)$
CF_4	50000	0.072	0	0.0012	$0.10(5.6 \times 10^3)$
C_2F_6	10000	0.004	0		$0.23(1.3 \times 10^4)$

① 括号内的数值是以 CO_2 为基准的相对值。

表 1-3 温室效应气体的来源和产生量

温室效应气体	来 源		产生量/(100 万吨/年)
	人为产生	自然产生	
二氧化碳	矿物燃料的燃烧及水泥生产 热带林的破坏		5000 ± 500 1600 ± 1000
甲烷	农业(水田、畜牧) 生物体的燃烧 矿物燃料的生产、消耗 固体废物	湿地等	145 ± 75 70 ± 40 50 ± 25 30 ± 30 197 ± 120
亚氧化氮	氮肥的使用 生物体的燃烧 工业(燃烧、化学)	土壤、海洋等	1.5 ± 1.5 0.6 ± 0.4 1.3 ± 0.5 7.5 ± 3.5
氟里昂	化学工业 氟里昂-11 氟里昂-12		 0.21 0.33

注：对于产生量，二氧化碳由 IPCC (1994)、甲烷由 OECD (1992)、亚氧化氮由 IPCC (1992) 推测，氟里昂由 IPCC (1994) 根据 1992 年发生量推测。

1.3.3 地球变暖的危害

1.3.3.1 自然生态系统的变化

地球变暖将导致由水热条件控制的自然地带的偏移, 因为生物圈中诸如热带雨林、寒温带针叶林、温带草原、荒漠等生态系统的存在和分布范围主要受到自然地带的控制, 所以自然地带的偏移必然会在这些生态系统的结构、功能及分布区域的变化上有所表现。

生物多样性为人类提供食物、医药和动物栖息地, 以往的气候变化(如冰期)曾灭绝了许多物种。近代人口猛增, 人类活动对环境的破坏加速了生物品种的消亡。未来的气候将使一些地区的某些物种消失, 而有些物种则从气候变暖中得到益处, 它们的栖息地可能增加, 竞争对手和天敌也可能减少。

1.3.3.2 对农业的影响

大气中二氧化碳的浓度升高后, 植物光合作用会增强, 作物生产力也随之提高; 地球变暖后作物生长期延长, 有助于提高产量; 降水量的增加会促进作物生长。然而地球变暖带来的危害就是, 在某些地区干旱的频率增加, 作物耕作周期缩短, 沿海和平原地区由于海平面上升遭受洪涝灾害和土壤盐渍化的影响, 农业病虫害加剧。

地球变暖引起农业结构发生变化, 从而使许多农产品生产状况和农产品贸易模式也会发生相应的变化。在过去很长的时间内, 许多地区的食物生产对技术、价格和政策改变的敏感性似乎比对气候的敏感性更强。然而在某些地区, 特别是发展中国家的边远地区, 农业对气候的变化相当敏感, 农业生产因之而遭受的损失可能非常明显。如果这些地区能够采取有效对策, 则未来气候变暖的不良影响将是防止或减缓的。

1.3.3.3 海平面上升

目前国际学术界较保守的预测是到 2050 年全球海平面将平均升高 15 cm, 到 2100 年达到 34 cm, 而国际气候变化专家委员会 (IPCC) 则认为到 2100 年海平面将上升 13~94 cm。海平面上升的直接影响是低地被淹, 海岸被冲蚀, 洪涝和风暴的破坏增加, 地表水和地下水盐分增加, 地下水位升高。

1.3.3.4 对人类的影响

平均气温的升高意味着每年将有更多天温度达到最高限度, 热浪将更为频繁地发生, 在此期间一连有好几天周围的每日气温超过身体的正常温度。温带和热带国家比较高的夏季温度将使由热造成的重病发生率和死亡率升高。热浪也扰乱心理上的平衡, 如脾气暴躁、犯罪频率增加以及暴乱更为普遍。在拥挤的城市环境中, 由于存在由石头、混凝土和柏油混合体下的“热岛”作用, 由热浪引发的死亡率更多。

昆虫和细菌通常生活繁衍在温暖潮湿的环境中, 许多昆虫, 像寄生虫和吸虫, 对环境的微小改变非常敏感。据世界卫生组织估计, 由于地球温度升高引起的主要媒介地理分布的可能变化如表 1-4, 许多原生动物的寄生生物(单细胞生物)的地理分布是与温度紧密相关的。在热带雨林国家, 这些由传病媒介传染的疾病是引起患病和死亡的主要原因。

表 1-4 全球主要传病媒介引起的疾病及其因气候变化而可能导致的在地理分布上的变化

疾 病	危险人口 /百万 ^①	传染病流行程度 /百万	现在的分布	因气候变化而可 能导致的变化 ^②
疟疾	2100	270	热带/亚热带	+++
淋巴丝虫病	900	90.2	热带/亚热带	+
盘尾丝虫病	90	17.8	非洲/拉美	+