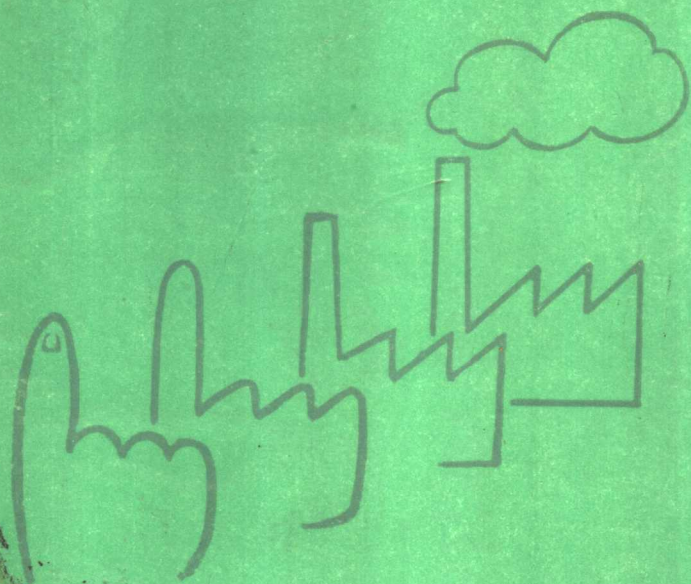


# 环境工程

ENVIRONMENTAL ENGINEERING

杨靖霞 史建福



成都科技大学出版社

# 环 境 工 程

杨靖霞 史建福

成 都 科 技 大 学 出 版 社

## 内 容 提 要

本书从治理方法的角度,较全面地介绍了空气污染控制、水污染控制、固体废物处理以及噪声污染控制工程技术基本知识和设计计算方法。对空气污染治理中常用的四大除尘技术:旋风除尘、袋式除尘、静电除尘、湿式洗涤和气体污染物的吸收、吸附;废水处理中的生物法和电解法进行了重点讨论。其中,较详细地介绍了国外关于旋风除尘器设计计算的新方法;也介绍了日本活性炭纤维(ACF)用于气体污染物吸附的数据。在普遍讨论废水处理方法的基础上,针对几种典型工业废水的处理作了较详细讨论。

## 环 境 工 程

杨靖霞 史建福 编

---

成都科技大学出版社出版发行  
四川省新华书店经销  
成都科技大学印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 12.4375

1990年6月第1版 1990年6月第1次印刷

印数 1-4000册 字数 269千字

---

ISBN 7-5616-0526-9/X·5

定价: 2.64元

## 前 言

在环境污染成为全球关注问题的今天，环境保护已作为我国基本国策之一。近年我国在环境污染治理方面规定了“谁污染，谁治理”的原则；还制定了“三同时”、“排污收费”、“排污许可证”、“限期治理”等共八项环境管理制度。1989年又颁布了《中华人民共和国环境保护法》。随着这些环境法规的严格执行和全民环境意识的逐渐提高，环境污染治理已成为迫切的社会需要。凡是在生产过程或生活中排放废水、废气、废渣和产生噪声等环境污染危害的部门或单位在维持现行生产和制定改造或发展规划时都必须把本行业的生产工艺、技术同环境保护结合起来考虑。因此，各行业工程技术人员、设计人员、技术管理人员都应掌握本行业环境保护及污染治理基本知识，这已是一种必然趋势。

这种迫切的社会需要向高等工科院校提出了对本科各有关专业开设《环境工程概论》课程的任务。同时也向各行业工程技术人员、设计人员和技术管理人员提出了迅速通过自学或再培训掌握环境污染治理基本知识及技术的任务。然而目前专供环境工程专业使用的教材都是针对气、水、渣、噪声四个专题分别编写的，且总学时偏多。不适合非环境工程专业开设“环境工程”使用。因此，我们编写了这本教材。

1988年国家教委决定在环境监测专业开设《环境工程概论》课。学时为80~100（包括实验）。我校环境监测专业

EAE15/05

在全国招生最早，为满足教学需要，我们于1988年底赶编写出《环境工程》讲义。经过环境监测专业本科生、夜大生、及短训班多次使用。在此基础上，我们再次作了修改，交付正式出版。

本书较全面、扼要地介绍空气污染、水污染、固体废物处理及噪声污染控制工程技术的基本知识和主要设备的设计计算方法。课时宜在80学时左右。在内容安排上采取突出重点、照顾全面的方法。对于重点内容，读者可从中获得设计计算具体方法；对非重点内容，读者可获得进一步深入研究和设计的方向。

本书可作大学本科非环境工程专业的《环境工程概论》课教材；也可作大专班及培训班教材或参考书；还适于化工、轻工、食品、纺织、医药、冶金、能源、建材等工矿企业技术人员、设计人员、技术管理人员作为环境污染治理技术的自学入门教材。对高校教师及研究生也有一定参考价值。

本书第一篇和第三篇由杨靖霞编写；第二篇由史建福编写。第十一章曾得彭少方教授的指导和帮助；杨光群副教授对第十二章曾提出宝贵意见。杨国文，葛人仪，刘预知在促成本书出版及编辑方面有很大帮助，特表示感谢。

编 著 者

于成都科技大学

# 目 录

|                     |   |
|---------------------|---|
| <b>第一章 绪论</b> ..... | 1 |
| 1-1 人类的生存环境.....    | 1 |
| 1-2 人类与环境.....      | 7 |
| 1-3 环境科学及环境工程.....  | 9 |

## 第一篇 空气污染控制工程

|                            |    |
|----------------------------|----|
| <b>第二章 空气污染及控制总论</b> ..... | 12 |
| 2-1 空气污染及污染物.....          | 12 |
| 2-2 污染源.....               | 16 |
| 2-3 空气污染物排放控制.....         | 20 |
| <b>第三章 除尘设备</b> .....      | 26 |
| 3-1 基本知识.....              | 26 |
| 3-2 旋风除尘器.....             | 31 |
| 3-3 袋式除尘器.....             | 49 |
| 3-4 静电除尘器.....             | 67 |
| <b>第四章 气体洗涤器</b> .....     | 85 |
| 4-1 气体洗涤器工业应用实例.....       | 85 |
| 4-2 气体洗涤过程及洗涤器分类.....      | 87 |
| 4-3 文丘利洗涤器.....            | 94 |

|                            |            |
|----------------------------|------------|
| 4-4 各类气体洗涤器性能比较.....       | 98         |
| 4-5 除尘设备的选型.....           | 99         |
| <b>第五章 气体污染物吸收与吸附.....</b> | <b>105</b> |
| 5-1 气体污染物吸收基本知识.....       | 105        |
| 5-2 吸收设备.....              | 116        |
| 5-3 填料吸收塔设计计算.....         | 120        |
| 5-4 吸收设备的比较和选择.....        | 128        |
| 5-5 气体污染物吸附基本知识.....       | 130        |
| 5-6 吸附剂.....               | 138        |
| 5-7 吸附设备.....              | 144        |

## 第二篇 水污染控制工程

|                           |            |
|---------------------------|------------|
| <b>第六章 水资源及水污染.....</b>   | <b>150</b> |
| 6-1 水资源及利用.....           | 150        |
| 6-2 水体污染.....             | 152        |
| 6-3 水体自净.....             | 159        |
| 6-4 水质控制标准及控制方法.....      | 164        |
| <b>第七章 沉淀法及化学混凝法.....</b> | <b>178</b> |
| 7-1 沉淀.....               | 178        |
| 7-2 化学混凝.....             | 197        |
| <b>第八章 生物处理.....</b>      | <b>215</b> |
| 8-1 生物处理基本原理.....         | 216        |
| 8-2 好氧生物处理法.....          | 222        |
| 8-3 厌氧生物处理法.....          | 228        |

|                   |            |
|-------------------|------------|
| 8-4 活性污泥法         | 232        |
| 8-5 污泥处理          | 260        |
| <b>第九章 化学及物化法</b> | <b>275</b> |
| 9-1 化学沉淀法         | 275        |
| 9-2 氧化还原法         | 280        |
| 9-3 电化学法          | 287        |
| 9-4 吸附法           | 297        |
| 9-5 膜分离           | 303        |
| <b>第十章 工业废水处理</b> | <b>310</b> |
| 10-1 造纸废水处理       | 310        |
| 10-2 印染废水处理       | 319        |
| 10-3 重金属废水处理      | 328        |

### 第三篇 固体废物 噪声及其它污染控制

|                           |            |
|---------------------------|------------|
| <b>第十一章 固体废物处置及资源回收利用</b> | <b>333</b> |
| 11-1 固体废物一般概念             | 333        |
| 11-2 固体废物的收集和处置           | 339        |
| 11-3 固体废物资源化              | 343        |
| 11-4 固体废物能的利用             | 353        |
| 11-5 固体废物资源利用             | 358        |
| 11-6 无废少废技术               | 363        |
| <b>第十二章 噪声污染及控制</b>       | <b>365</b> |
| 12-1 声的度量与听觉特性            | 365        |

|      |                   |     |
|------|-------------------|-----|
| 12-2 | 噪声污染.....         | 370 |
| 12-3 | 噪声控制.....         | 373 |
| 12-4 | 材料的吸声性能及吸声结构..... | 377 |
| 12-5 | 隔声.....           | 382 |
| 12-6 | 消声器.....          | 386 |

# 第一章 绪 论

## 1-1 人类的生存环境

### 一、地球生态系统

目前人类赖以生存和发展的环境主要是指地球上属于生物圈范围的自然环境。生物圈一般包括深度约 11 公里 的海洋，高度约 9 公里的陆地表面和海面以上约 12 公里 的大气层，在这一巨大空间里，有阳光、空气、水、土壤及生物体等各种必要的物质因素。这样一个统一整体是地球上最大的生态系统，即地球生态系统，也是人类生存环境的主要部份。

### 二、生态系统内的物质循环

上述地球生态系统内，各种生物体维持生命所必需的主要物质不断循环。正是这些物质的循环运动使整个生态系统维持着动态平衡，同时，也为各种生物体和人类的进化、生存和发展提供了必要的条件。

1. 水循环 一切生命有机体大部份由水组成。水不仅是维持生命所必需的物质，而且也是保持和调节气候的重要媒介。水是人类生存环境的要素之一。

地球上总水量约有  $1.5 \times 10^9$  立方公里。其中约 97% 存在于海洋，2% 分布于两极及冰川，1% 在地下水体和江、河、

湖、泊及农田等地表水体中。据估计，每年有约 $5 \times 10^6$ 立方公里的水在生态系统中不断循环，如图1-1所示。

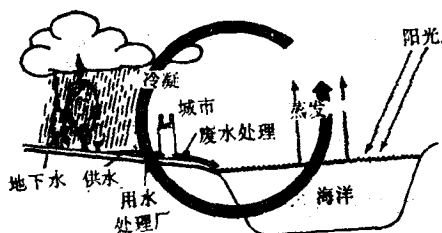


图1-1 水循环示意图

地球表面有70%以上被水复盖，其中海洋面积为  $361 \times 10^6$  平方公里。在太阳照射下，地球就像一台巨大的蒸发锅。水吸收太阳能不断从水体表面蒸发进入大气；储存在植物体内的水分通过叶面的蒸腾也进入大气。大气中的水蒸汽上升遇冷凝结后，以雨水、雪花或冰雹等形式降落到地面，成为降水。降水一部份从地表面流走，称为地表径流。地表径流进入地表水体。降水的其余部份渗入地下，其中一些被阻留在土壤内，待植物吸收或再蒸发；另一些渗过土壤到达致密粘土层和岩石层，在此积累成为地下水。其上表面位置即为地下水位。不论地表水或地下水最后都流入海洋。在海洋再次经历由太阳驱动的上述蒸馏净化过程。这样，水的蒸发与冷凝不断交替，形成了人类生态环境中这样大规模的水循环。这个水循环消耗太阳能为  $12.56 \times 10^{20}$  千焦/年。

人类从地表或地下水体中取出部份水作为生产及生活之用。使用后的废水，又以几乎相同的数量，排入地表或地下水体。这是人类活动参与和影响水循环的方式。

2. 碳-氧循环 生物细胞的干重中，约有 50% 是碳，20% 是氧，可见碳和氧这两种元素对维持生命活动多么重要！生态系统中的碳氧循环见图 1-2。

植物通过光合作用把大气中的无机组份  $\text{CO}_2$  和  $\text{H}_2\text{O}$  合成为有机物质——碳水化合物，供各种动物食用，同时生产着副产品——氧气。光合作用把太阳能转化为化学能储存在植物体内，为人类的生存提供了基本条件：氧气和食物。动物

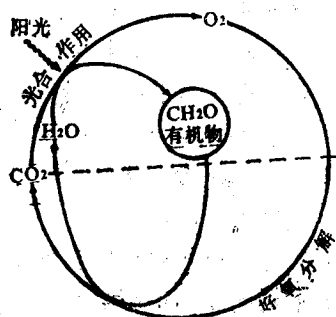


图 1-2 碳-氧循环示意图

食用植物，吸入氧气并将植物体内高能碳水化合物中的能量释放出来供自身活动及生长之用，同时把碳水化合物分解为  $\text{CO}_2$  和  $\text{H}_2\text{O}$ ，呼出的  $\text{CO}_2$  又回到大气中。动植物死后，其尸体由微生物分解为  $\text{CO}_2$  和  $\text{H}_2\text{O}$ 。这样，绝大部份由光合作用合成的有机物又被生物界通过食物链一级一级重新分解成无机组份  $\text{CO}_2$  和  $\text{H}_2\text{O}$  返回大气，如此循环不止。

在碳循环中，人类除了和其它动物一样能够利用氧气消耗植物获取能量之外，还通过燃烧石油、煤等。这样使在自然界储存多年的碳，在短时期内集中地以  $\text{CO}_2$  形式转入大气中，由于自然界沉积碳的速度，比之于开采的速度要慢得多，人类的燃烧活动导致大气中  $\text{CO}_2$  净含量增加，产生温室效应。这是碳循环中由于人类活动施加影响而形成的一个主要问题。

以上两个循环是人类生态环境中规模最大也是最重要的

两个循环。实际上包括C, H, O三种元素的循环。

3. 氮循环 氮在生物体细胞中的量仅次于碳和氧。氮主要含在氨基酸及核酸中。它们在生命体内是控制代谢和能量传递起重要作用的组份。

图1-3表示生物圈内氮的循环过程。氮的固定是指氮由分子态还原到氨氮态 $\text{NH}_3$ 。这种固氮过程通过四种途径进行：第一是生物固氮，豆科植物和其他少数高等植物能通过根瘤菌固定大气中的氮。第二是工业固氮，即合成氮肥。其量随农业发展需要而增加。第三是大气固氮，在雷电作用下，

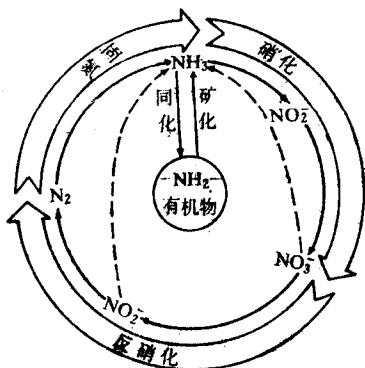


图1-3 氮循环

大气中的氮氧化成硝酸盐，随降水至土壤被植物吸收，第四是岩浆固氮，火山爆发时，喷出的岩浆可以固定一部份氮。

被固定化的氮也可能以 $\text{NO}_3^-$ 形式存在。不论是 $\text{NH}_3$ 或 $\text{NO}_3^-$ 都能被植物吸收并被生化反应同化为有机体。有机物降解时又把同化为有机物的氮释放出来，这一过程称为矿化。矿化后的 $\text{NH}_3$ 可能被植物吸收，也可能被微生物(硝化菌)氧化为硝酸盐或亚硝酸盐，该过程称为硝化。土壤中的 $\text{NO}_3^-$ 或 $\text{NO}_2^-$ 可能再次被植物吸收，或被微生物作为氮源，用以合成新的细胞质，也可能被另一些微生物分解为 $\text{N}_2$ 进入大气。这后一过程称为反硝化。反硝化是使氮返回大气的一步，但应注意，并非所有参加循环的氮都经过反硝化这一步。

因此，固定的氮比返回大气中的氮要多一些。这多余的固氮分布在土壤及水体，可能使水体出现富营养化现象。

目前，工业固氮约占全部固氮量的30%，可见人类活动对氮循环已有重要影响。

4. 硫循环 和氮相似，硫也是构成蛋白质的元素之一，图1-4表示硫循环。

土壤中以正六价存在的硫( $\text{SO}_4^{2-}$ )，一部份被植物吸收同化为硫化物，在合成

含硫氨基酸的过程中进入植物体内；另一部份被还原菌还原成 $\text{H}_2\text{S}$ 。死植物矿化时，硫以 $\text{H}_2\text{S}$ 形式释出。 $\text{H}_2\text{S}$ 可由两种途径氧化成 $\text{SO}_4^{2-}$ ：一是厌氧脱硫光合菌将 $\text{H}_2\text{S}$ 氧化成元素硫，另一种好氧菌把元素硫氧化成硫酸盐；二是 $\text{H}_2\text{S}$ 被大气中 $\text{O}_2$ 氧化成 $\text{SO}_2$ ， $\text{SO}_2$ 被水蒸气吸附转化为 $\text{SO}_4^{2-}$ ，随雨水进入土壤。海洋中由微生物分解植物释放的 $\text{H}_2\text{S}$ 逸出海面进入大气后，被氧化成 $\text{SO}_4^{2-}$ 转移到陆地。这样，硫的不断氧化和还原构成了硫循环。

以上三种循环有两个共同特点：一是这些元素都可以气态化合物形式存在，如 $\text{CO}_2$ 、 $\text{CH}_4$ 、 $\text{O}_2$ 、 $\text{N}_2$ 、 $\text{NH}_3$ 、 $\text{SO}_2$ 、 $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{H}_2\text{O}$ 等。因此都有可能形成陆地与海洋之间的大循环；二是它们都和水循环密切相关。

5. 磷循环 磷是核酸的一种基本结构元素。

磷在自然界通常很少有气态化合物存在。因此，被雨水

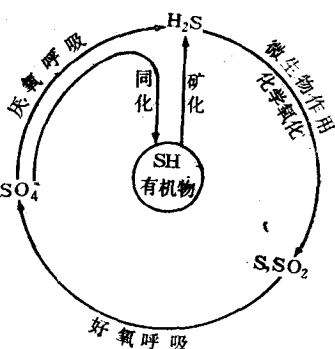


图1-4 硫循环

从土壤冲洗到海洋中的磷化合物不能自动返回陆地，这样就使磷元素成为许多植物生长的限制因素。

人类从海洋打捞各种海产物的过程，实质上是将磷从海洋搬到陆地的过程，在磷循环中起着重要作用。某些情况下，人类过多施用磷肥而植物又不能及时吸收它们时，往往被冲洗而过多集中于水体，造成水体的富营养化。

### 三、生态系统中的能量流动及转换

驱动上述物质循环运动的唯一能源是太阳能，太阳能的通量约为 $8.4 \text{ 焦/厘米}^2 \cdot \text{分钟}$ 。照射过程中，约有19-20%被大气吸收，30~34%反射和散射到空间，只有50%左右到达地球表面。这其中，大部份用于水的蒸发和地球表面的加热，只有约1%的能量用于绿色植物的光合作用。估计目前地球上通过光合作用，利用这部份能量所生产的有机物质总产量可达1500~2000亿吨/年。总产量中，生物体进行呼吸需耗去部份能量，剩下的称为净产量(Net Production)。在生物圈内的食物链中，绿色植物为生产者，草食动物为一级消费者，肉食动物为二级消费者，人类为三级消费者。生产者体内所储存的能量，每经过一个级别的消费者食用，都有该级生物自身的呼吸作用而耗去部份能量。因此，随着食物链的层次增加，净产量急剧下降。从节约能量的观点看，人类食物以植物最为经济。

上述生物圈内绿色植物所生产的净产量中，约有50%分布在森林，约26%分布在海洋，真正作为人类食用来自农田的部份只占6%左右。

从能量供应的角度，地球上的绿色植物既然只能接受太

太阳能照射到地面能量的1%，那么，按此估算，地球最多只能养活约80亿人口。目前世界人口总数是50亿。

以上是人类所处生态环境及其中能量和物质运动、分配的概况。

## 1-2 人类与环境

前述地球生态系统内的物质循环及能量流动，在地球上出现人类以前早已存在。由这些运动所支持的生态系统为人类的进化、生存和发展提供了良好的自然环境。在这个自然环境中，人类不断奋斗，终于成为生存竞争中的佼佼者，从而发展到数量众多，科技发达的今天。

在远古时代，当人类还处于数量极少，质量很差的初期发展阶段时，其活动对环境的影响不易察觉。因而，在漫长发展过程中，人类习惯于向大自然索取，而很少意识到自己对环境应负的责任。随着人类数量增多，质量提高，影响环境的能力也增强。到了本世纪，人类的活动已造成了对自己生存环境的严重污染及对生态平衡的破坏。从一系列世界闻名的污染事件中，人类开始醒悟到环境问题的严重性，开始认真思考和研究人类与环境的密切关系，研究如何用科学技术保护自己的生存环境。于是逐渐发展了各种有关环境的学科。初步认识到人类与环境之间互相影响的一些关系。

人类与环境的定性关系可用图1-5说明。人类生存空间及其中五大要素：阳光、空气、水、土壤及生物体是人类生存环境的具体体现。因此，人类与环境的关系，可以归纳为人类活动与这五大要素之间的关系。人类从这五大要素获取

能量和生活必需品，以维持生命和改善生存条件。在此过程中，人类不断以高速度开采储量有限的矿藏，砍伐再生缓慢

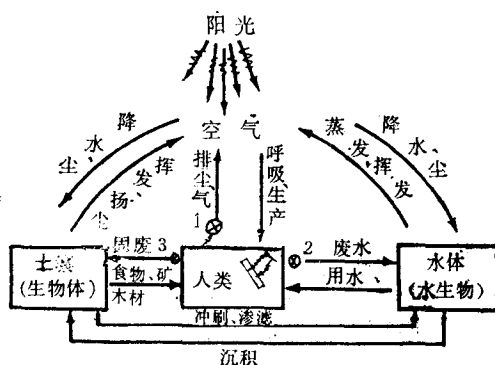


图1-5 人类与环境关系示意图

的森林，并向空气、水体和土壤源源不断排放大量的气、液、固态的废弃物。这些活动都将对前述生态系统内的物质循环和能量流动产生重要影响。无视环境利益，任意索取自然资源及能源有可能导致生态环境的恶化，而恶化了的生态环境，通常在短期内难以恢复和改善，并将给人类以惩罚。三废中的污染物若不严格控制其排放，则将污染空气、水体和土壤。而被污染和破坏的环境，又将通过食物、水源、空气源等多种渠道及伤害生物体与损坏物资等多种方式，危害人类及其生存条件。人类活动过程中产生的各种波和粒子辐射也将直接伤害人体。可见，人类与环境之间本来有着十分密切的关系。但是，由于人类从觉醒到认真研究这种关系还只有数十年的历史，其中许多细节，还有待于深入研究。