

# 第五章 环境污染防治

## 第一节 水污染防治

### 一、各类水污染的防治对策

由于大量污水的排放，我国的许多河川、湖泊等水域都受到了严重的污染水污染防治已成为我国最紧迫的环境问题之一。

根据发生源的不同，水污染主要分为工业水污染、城市水污染和农村水污染。对各类水污染应分别采取如下基本防治对策。

#### (一)工业水污染防治对策

在我国总污水排放量中，工业污水排放量约占 60%左右。工业水污染的防治是水污染防治的首要任务。国内外工业水污染防治的经验表明，工业水污染的防治必须采取综合性对策，从宏观性控制、技术性控制以及管理性控制 3 个方面着手，才能受到良好的整治效果。

##### 1. 宏观性控制对策

首先在宏观性控制对策方面，应把水污染防治和保护水环境作为重要的战略目标，优化产业结构与工业结构，合理进行工业布局。

目前我国的工业生产正处在一个关键的发展阶段。应在产业规划和工业发展中，贯穿可持续发展的指导思想，调整产业结构，完成结构的优化，使之与环境保护相协调。工业结构的优化与调整应按照“物耗少、能源少、占地少、污染少、运量少、技术密集程度高及附加值高”的原则，限制发展那些能耗大、用水多、污染大的工业，以降低单位工业产品或产值的排水量及污染物排放负荷。积极发展第三产业，优化第一、第二与第三产业之间的结构比例，达到既促进经济发展，又降低污染负荷的目的。在人口、工业的布局上，也应充分考虑对环境的影响，从有利于水环境保护的角度进行综合规划。

##### 2. 技术性控制对策

技术性控制对策主要包括：推行清洁生产、节水减污、实行污染物排放总量控制、加强工业废水处理等。

(1)积极推行清洁生产：清洁生产是通过生产工艺的改进和改革、原料的改变、操作管理的强化以及废物的循环利用等措施，将污染物尽可能地消灭在生产过程之中，使废水排放量减少到最少。在工业企业内部加强技术改造，推行清洁生产，是防治工业水污染的虽重要的对策与措施。这不仅可以从根本上消除水污染，取得显著的环境效益，而且还可以带来巨大的经济效益和社会效益。

(2)提高工业用水重复利用率：减少工业用水量不仅意味着可以减少排污量，而且可以减少工业新鲜用水量。因此，发展节水型工业对于节约水资源，缓解水资源短缺和经济发展的矛盾，同时减少水污染和保护水环境具有十分重要的意义。

同国外经济发达、工业先进的国家相比，我国大部分工厂水的浪费现象仍然十分严重。例如，钢铁行业，国外先进水平的吨钢耗水量一般为 3—5m<sup>3</sup>，而我国的平均水平为 70—100 m<sup>3</sup>；石油炼制行业，国外先进水平仅为 0.2 m<sup>3</sup>/t，而我国一般需 5—6 m<sup>3</sup>/t，有的甚至高达 20 m<sup>3</sup>/t 以上。因此，在工业行业节约用水十分重要，并具有很大的潜力。

工业节水措施可分为 3 种类型：技术型、工艺型与管理型，如表 5—1 所示。这三种类型的工业节水措施可从不同层次上控制工业用水量，形成一个严密的节水体系，以达到节水同时减污之目的。

表 5-1 工业节水的类型

技术型工业节水	工艺型工业节水	管理型工业节水
间接冷却水的指环使用 生产工艺水的回收利用 水的串接使用 水的多种倣用 采用各种节水装置	改变耗水型工艺 少用水或不用水 汽化冷却工艺 空气冷却工艺 逆流清洗工艺 干法洗涤工艺	完善用水计量系统 制订和实行动用水定额制度 实行节水奖励、浪资惩罚掘 制订合理水价 加强用水考核

工业用水的重复利用率是衡量工业节水程度高低的重要指标。提高工业用水的重复用水率及循环用水串是一项十分有效的节水措施。电力、冶金、化工、石油、纺织、轻工为我国六大重点用水部门，也是重点节水部门。应在这些部门重点升展节水工作，根据国外先进水平及国内实际状况，规定各种行业的水重复利用率的合理范围，以促进提高水的重复利用和循环利用水平。

(3)实行污染物排故总量控制制度：长期以来，我国工业废水的排放一直实

施浓度控制的方法。这种方法对减少工业污染物的排放起到了积极的作用，但也出现了某些工厂采用清水稀释废水以降低污染物浓度的不正当做法。污染物排放总量控制是既要控制工业废水中的污染物浓度，又要控制工业废水的排放量，从而使排放到环境中的污染物总量得到控制。实施污染物排放总量控制是我国环境管理制度的重大转变。它将对防治工业水污染起到积极的促进作用。

(4)促进工业废水与城市生活污水的集中处理：在建有城市废水集市处理设施的城市，应尽可能地将工业废水排入城市下水道，进入城市污水处理厂与生活污水合并处理。但工业废水的水质必须满足进入城市下水道的水质标准。对于不能满足标准的工业废水，应在工厂内部先进行适当的预处理，使水质满足标准后，方可排入城市下水道。实践表明，在城市污水处理厂集中处理工业废水与生活污水能节省基建投资和运行管理费用，取得更好的处理效果。

### 3. 管理性控制对策

进一步完善废水排放标准和相关的水污染控制法规和条例，加大执法力度，严格限制废水的超标排放。健全环境监测网络，在不同层次，如车间、工厂总排出口和接纳水体进行水质监测，并增强事故排放的预测与预防能力。

#### (二)城市水污染防治对策

我国城市基础设施落后，城市废水的集中处理率目前不足 10%。大量未经妥善处理的城市废水肆意排入江河湖海，造成严重的水污染。因此，加强城市废水的治理是十分重要的。

##### 1. 将水污染防治纳入城市的总体规划

各城市应结合城市总体规划与城市环境总体规划，将不断完善下水道系统作为加强城市基础设施建设的重要组成部分予以规划、建设和运行维护。对于旧城区已有的污水项水合流制系统应作适当的改造。新城区建设应在规划时考虑配套建设雨水 / 污水分流制下水道系统。应有计划、有步骤地建设城市污水处理厂。城市废水厂的建设是解决城市水污染的重要手段。

##### 2. 城市废水的防治应遵循集中与分散相结合的原则

一般来讲，集中建设大型城市污水处理厂与分散建设小型污水处理厂相比，具有基建投资少、运行费用低、易于加强管理等优点。但在人口相对分散的地区，城市废水厂的服务面积大，废水收集与输送管道敷设费用增加，适当分散治理可

以减少废水收集管道和废水厂建设的整体费用。此外,从废水资源化的需要来看,分散处理便于接近用水户,可节省大型管道的建设费用。因此,在进行城市废水处理厂的规划与建设时,应根据实际情况,遵循集中与分散相结合的原则,综合考虑确定其建设规模。

### 3. 在缺水地区应积极将城市水污染的防治与城市废水资源化相结合

随着世界城市化进程加快,许多城市严重缺水,特别是工业和人口过度集中的大城市和超大城市,情况更加严重。例如,美国洛杉矶、得克萨斯州、亚利桑那州、内华达州的一些城市,墨西哥的墨西哥市。我国的大连、青岛、天津、北京、太原等城市普遍缺水。因此,在水资源短缺地区,在考虑城市水污染防治对策时应充分注意与城市废水资源化相结合,在消除水污染的同时,进行废水再生利用,以缓解城市水资源短缺的局面,这对于我国北方缺水城市尤有重要意义。如北京市在城市污水防治规划中考虑了城市污水的回用需求,污水处理厂的位置是根据回用的需要决定的,这便于就地消纳净化出水,以缓解北京市水资源的紧张状况。

### 4. 加强城市地表和地下水源的保护

由于大量污水的排放,许多城市的饮用水源都受到了不同程度的污染。调查资料表明,我国约 17%的居民的饮用水中有机污染物浓度偏高。淮河流域一些城镇的饮用水大部分不符合卫生标准。城市水污染的防治规划应将饮用水源的保护放在首位,以确保城市居民安全饮用水的供给。

### 5. 大力开发低耗高效废水处理与回用技术

传统的活性污泥法城市污水处理工艺虽然能有效地去除污水中的有机物,但具有基建费大、运行费较高等缺点。往往为我国经济实力所不胜负担。此外,该工艺还不能有效地去除污水中的氮、磷等营养物质。因此,必须根据各地情况,因地制宜地开发各种高效低耗的新型废水处理与回用技术。例如,厌氧生物处理技术、生物膜法、天然净化系统等。尽可能地降低基建投资,节省运行费用,以更快地提高城市污水的处理率,有力地控制水污染。

## (三)农村水污染防治对策

常见的农村水污染是各类面污染源。如农田中使用的化肥、农药,会随雨水径流流入到地表水体或渗入地下水体;畜禽养殖粪尿及乡镇居民生活污水等,

也往往以无组织的方式排入水体，其污染源面广而分散，污染负荷也很大，是水污染防治中不容忽视而且较难解决的问题。应采取的主要对策如下。

### 1. 发展节水型农业

农业是我国的用水大户，其年用水量约占全国用水量的 80%。节约灌溉用水，发展节水型农业不仅可以减少农业用水量，减少水资源的使用，同时可以减少化肥和农药随排灌水的流失，从而减少其对水环境的污染，此外，还可节省肥料。因此，具有十分重要的意义。

农业节水可以采取的各种措施有：①大力推行喷灌、滴灌等各种节水灌溉技术；②制定合理的灌溉用水定额，实行科学灌水；③减少输水损失，提高灌溉渠系利用系数，提高灌溉水利用率。

### 2. 合理利用化肥和农药

化肥污染防治对策有：改善灌溉方式和施肥方式，减少肥料流失；加强土壤和化肥的化验与监测，科学定量施肥。特别是在地下水水源保护区，应严格控制氮肥的施用量；调整化肥品种结构，采用高效、复合、缓释新化肥品种；增加有机复合肥的施用；大力推广生物肥料的使用‘加强造林、植树、种草，增加地表覆盖，避免水土流失及肥料流入水体或渗入地下水；加强农田工程建设(如修建拦水沟埂以及各种农田节水保田工程等)，防止土壤及肥料流失。

农药污染防治对策有：开发、推广和应用生物防治病虫害技术，减少有机农药的使用量；研究采用多效抗虫害农药，发展低毒、高效、低残留量新农药；完善农药的运输与使用方法，提高施药技术，合理施用农药；加强农药的安全施用与管理，完善相应的管理办法与条例。

### 3. 加强对畜禽排泄物、乡镇企业废水及村镇生活污水的有效处理

对畜禽养殖业的污染防治应采取以下措施：合理布局，控制发展规模；加强粪尿的综合利用、改进粪尿清除方式、制订畜禽养殖场的排粪标准、技术规范及环保条例；建立示范工程，积累经验逐步推广。

对乡镇企业废水及村镇生活污水的防治应采取以下措施：对乡镇企业的建设统筹规划，合理布局，并大力推行清洁生产，实施废物最少量化；限期治理某些污染严重的乡镇企业(如造纸、电镀、印染等企业)，对不能达到治理目标的工厂，要坚决关、停、并、转，以防治对环境的污染及危害；切合实际地对乡镇企业实

施各项环境管理制度和政策；在乡镇企业集中的地区以及居民住宅集中的地区，逐步完善下水道系统，并兴建一些简易的污水处理设施，如地下渗滤场、稳定塘、人工湿地以及各种类型的土地处理系统。

## 二、废水处理的基本方法

废水中污染物多种多样，从污染物形态分有：溶解性的、胶体状的和悬浮状的污染物；从化学性质分有：有机污染物和无机污染物；有机污染物从生物降解的难易程度又可分为可生物降解的有机物和不可生物降解的有机物。废水处理即是利用各种技术措施将各种形态的污染物从废水中分离出来，或将其分解、转化为无害和稳定的物质，从而使废水得以净化的过程。

根据所采用的技术措施的作用原理和去除对象，废水处理方法可分为物理处理法、化学处理法和生物处理法三大类。主要废水处理技术及其去除对象如表 5—2 所示。

### 4. 离心分离

使含有悬浮物的废水在设备中高速旋转，由于悬浮物和废水质量不同，所受的离心的不同，从而可使悬浮物和废水分离的方法。根据离心力的产生方式，离心分离设备可分为旋流分离器和离心机两种类型。

### (二) 废水的化学处理法

化学处理法是利用化学反应来分离、回收废水中的污染物，或将其转化为无害物质，主要工艺有中和、混凝、化学沉淀、氧化还原、吸附、萃取等。

#### 1. 中和法

中和法是利用化学方法使酸性废水或碱性废水中和达到中性的方法。在中和处理中，应尽量遵循“以废治废”的原则。优先考虑废酸或废碱的使用，或酸性废水与碱性废水直接中和的可能性。其次才考虑采用药剂(中和剂)进行中和处理。

#### 2. 混凝法

混凝法是通过向废水中投入一定量的混凝剂，使废水中难以自然沉淀的胶体状污染物和一部分细小悬浮物经脱稳、凝聚、架桥等反应过程，形成具有一定大

小的聚凝体，在后续沉淀池中沉淀分离，从而使胶体状污染物得以与废水分离的方法。通过混凝，能够降低废水的浊度、色度，去除高分子物质、呈悬浮状或胶体状的有机污染物和某些重金属物质。

表 5—2 废水处理方法的分类及去除对象

分 类	处理工艺	处理对象	适用范围
物理处理法	调节池	均衡水质和水量	预处理
	格栅	组大悬浮物和漂浮物	预处理
	筛网	较细小的悬浮物	预处理
	沉淀	可沉物质	预处理
	气浮	乳化油、比重接近 1 的悬浮物	预处理或中间处理
	离心机 旋流分离器 砂滤池	乳化油、固体物 较大的悬浮物 细小悬浮物、乳化油	预处理或中间处理 预处理 中间或深度处理
化学处理法	中和	酸、碱	预处理
	混凝	胶体、细小悬浮物	中间或深度处理
	化学沉淀	溶解性有害重金属	中间或深度处理
	氧化还原	溶解性有害物质	中间或深度处理
	吹脱	溶解性气体	预处理或中间处理
	萃取	溶解性有机物	预处理或中间处理
	吸闭	溶解性物质	中间或深度处理
	离子交换	可离解物质	深度处理
	电渗析	可离解物质	深度处理
	反渗透膜	盐类	深度处理
生物处理法	好氧生物处理	胶体和溶解性有机物	中间处理
	厌氧生物处理		中间处理
	土地处理		深度处理
	稳定塘		深度处理

### 3. 化学沉淀法

化学沉淀法是通过向废水中投入某种化学药剂，使之与废水中的某些溶解性污物质发生反应，形成难溶盐沉淀下来，从而降低水中溶解性污物质浓度的方法。化学沉淀法一般用于含重金属工业废水的处理。根据使用的沉淀剂的不同和生成的难溶盐的种类，化学沉淀法可分为氢氧化物沉淀法、硫化物沉淀法和钡盐沉淀法。

### 4. 氧化还原法

氧化还原法是利用溶解在废水中的有毒有害物质，在氧化还原反应中能被氧

化或还原的性质，把它们转变为无毒无害物质的方法。废水处理使用的氧化剂有臭氧、氯气、次氯酸钠等，还原剂有铁、锌、亚硫酸氢钠等。

#### 5. 吸附法

吸附法是采用多孔性的固体吸附剂，利用固—液相界面上的物质传递，使废水中的污染物转移到固体吸附剂上，从而使之从废水中分离去除的方法。具有吸附能力的多孔固体物质称为吸附剂。根据吸附剂表面吸附力的不同，可分为物理吸附、化学吸附和离子交换性吸附。在废水处理中所发生的吸附过程往往是几种吸附作用的综合表现。废水中常用的吸附剂有活性炭、磁化煤、沸石等。

#### 6. 离子交换法

离子交换是指在固体颗粒和液体的界面上发生的离子交换过程。离子交换水处理法即是利用离子交换剂对物质的选择性交换能力去除水和废水中的杂质和有害物质的方法。

#### 7. 膜分离

可使溶液中一种或几种成分不能透过，而其他成分能透过的膜，称为半透膜。膜分离是利用特殊的半透膜的选择性透过作用，将废水中的颗粒、分子或离子与水分离的方法，包括电渗析、扩散渗析、微过滤、超过滤和反渗透。

### (三)废水的生物处理法

在自然界中，栖息着巨量的微生物。这些微生物具有氧化分解有机物并将其转化成稳定无机物的能力。废水的生物处理法就是利用微生物的这一功能，并采用一定的人工措施，营造有利于微生物生长、繁殖的环境，使微生物大量繁殖，以提高微生物氧化、分解有机物的能力，从而使废水中的有机污染物得以净化的方法。

根据采用的微生物的呼吸特性，生物处理可分为好氧生物处理和厌氧生物处理两大类。根据微生物的生长状态，废水生物处理法又可分为悬浮生长型(如活性污泥法)和附着生长型(生物膜法)。

#### 1. 好氧生物处理法

好氧生物处理是利用好氧微生物，在有氧环境下，将废水中的有机物分解成二氧化碳和水。好氧生物处理处理效率高，使用广泛，是废水生物处理中的主要方法。好氧生物处理的工艺很多，包括活性污泥法、生物滤池、生物转盘、生物



接触氧化等工艺。

## 2. 厌氧生物处理法

厌氧生物处理是利用兼性厌氧菌和专性厌氧菌在无氧条件下降解有机污染物的处理技术，最终产物为甲烷、二氧化碳等。多用于有机污泥、高浓度有机工业废水，如啤酒废水、屠宰厂废水等的处理，也可用于低浓度城市污水的处理。污泥厌氧处理构筑物多采用消化池，最近二十多年来，开发出了一系列新型高效的厌氧处理构筑物，如升流式厌氧污泥床、厌氧流化床、厌氧滤池等。

## 3. 自然生物处理法

自然生物处理法即利用在自然条件下生长、繁殖的微生物处理废水的技术。主要特征是工艺简单，建设与运行费用都较低，但净化功能易受到自然条件的制约。主要的处理技术有稳定塘和土地处理法。

### (四) 废水处理工艺流程

由于废水中污染物成分复杂，单一处理单元不可能去除废水中全部污染物，常需要多个处理单元有机组合成适宜的处理工艺流程。确定废水处理工艺的主要依据是所要达到的处理程度。而处理程度又主要取决于原废水的性质、处理后废水的出路以及接纳处理后废水水体的环境标准和自净能力。

#### 1. 城市废水的一般处理工艺流程

其主要任务是去除城市废水中含有的悬浮物和溶解性有机物。一般处理工艺流程如图 5—1 所示，根据不同的处理程度，可分为预处理、一级处理、二级处理和三级处理。

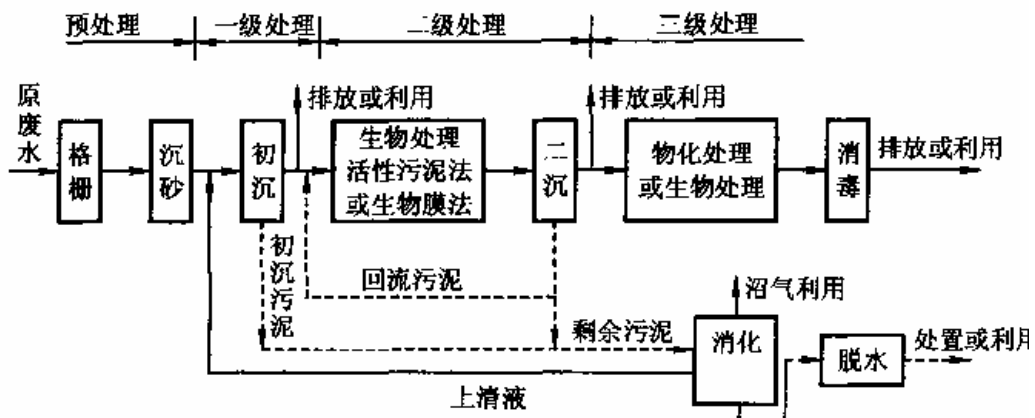


图 5—1 城市废水的一般处理工艺流程

(1)预处理；主要工艺包括格栅、沉砂池。用于去除城市污水中的粗大悬浮物和比重大的无机砂粒，以保护后续处理设施正常运行并减轻负荷。

(2)一级处理及二级处理一般为物理处理，主要去除污水中的悬浮状固体物质。悬浮物去除率为 50%—70%，有机物去除率为 25%左右。一般达不到排放标准。因此一级处理属于二级处理的前处理。主要工艺为沉淀池。

(3)二级处理；二级处理为生物处理，用于大幅度去除污水中呈胶体或溶解性的有机物，有机物去除率可达 90%以上，处理后出水 BOD<sub>5</sub>可降至 20—30mg/L，达到国家规定的污水排放标准。主要工艺有活性污泥法、生物膜法等。

(4)三级处理：在二级处理之后，用于进一步去除残存在废水中的有机物和氮磷，以满足更严格的废水排放要求或回用要求。采用的工艺有生物除氮脱磷法，或混凝沉淀、过滤、吸附等一些物化方法。

## 2. 工业废水的处理工艺流程

由于工业废水水质成分复杂，且随行业、生产工艺流程、原料的变化而变化，故没有通用的工艺流程。可参考表 14—2 所列单元技术，以及所要处理的工业废水的水量 and 水质、处理程度要求，选取适宜的单元技术和工艺流程。

## 三、城市废水资源化

### (一) 城市废水资源化的意义

近 20 年来经济的持续快速发展和人口的膨胀加剧了对水的需求，造成世界范围水资源短缺。水资源短缺威胁着人类的生存和发展，已成为全球人类共同面临的最严峻的挑战之一。

为解决困扰人类发展的水资源短缺问题，开发新的可利用水源是世界各国普遍关注的课题。城市废水水质、水量稳定，经处理和净化以后可以作为新的再生水源加以利用。世界上不少缺水国家把城市废水的资源化作为解决水资源短缺的重要对策之一，围绕城市废水的资源化与再生利用开展了大量的研究，包括废水回用途径的分析与开拓，废水资源化工艺与技术研究，回用水水质标准的建立，回用水对人体健康的影响，促进废水资源化的政策与管理体系等。

城市废水如不加以净化，随意排放，将造成严重的水环境污染。如将城市废

水的净化和再生利用结合起来，去除污染物，改善水质后加以回用，不仅可以消除城市废水对水环境的污染，而且可以减少新鲜水的使用，缓解需水和供水之间的矛盾，为工农业的发展提供新的水源，取得多种效益。许多国家和地区把城市废水再生水作为一种水资源的重要组成，对城市废水的资源化进行了系统规划。例如，美国佛罗里达州的南部地区、加利福尼亚州的南拉谷那、科罗拉多州的奥罗拉、沙特阿拉伯、意大利及地中海诸国等。实践表明，城市废水经处理后可以满足地用于农业、城市和工业等领域。作为缓解水资源短缺的里要战略之一，城市废水资源化显示了光明的应用前景。

## (二)废水资源化途径与再生水水质标准

### 1. 废水资源化途径

根据城市废水处理程度和出水水质，经净化后的城市废水可以有多种回用途径，如表 5—3 所示。大体可分为城市回用、工业回用、农业回用(包括牧渔业)和地下水回港。在工业回用中，主要可用作冷却水；城市回用中有城市生活杂用水、市政与建筑用水等；农业用水则主要是灌溉用水。

### 2. 再生水水质标准

对于城市废水的回用工程，最重要的是再生水的水质要满足一定的水质标准。回用对象不一样，所规定的标准也不一样。以下介绍几种废水回用途径及相应的水质标族。

(1)回灌地下水：再生水回沼地下蓄水层作饮用水源时，其水质必须满足或高于国家生活饮用水卫生标准(GB5749—85)。美国加利福尼亚州卫生署于 1976 年制订了再生水回灌地下水的建议水质标准，1977 年进一步对水质标推进行了修订。考虑到难生物降解有机物对地下水水质影响以及对人体健康的危害，除一般常规监测指标外，还要求对苯、四氯化碳等 20 种有机物和 6 种农药有机物进行监酌。

(2)工业回用：再生水的工业回用主要有 3 个方面：回用作冷却水、工艺用水以及锅炉补给水。回用作冷却水的再生水水质应满足冷却水循环系统补给水的水质标准；回用作工艺用水时，由于工艺的不同，水质也千差万别，应根据不同工业的不同工艺，满足其相应的水质标准；用作蒸汽锅炉补给水的水质与锅炉压力有直接关系。再生水往往需要经过补充处理后才能适用于锅炉补给水。

(3)农业回用：再生水的农业回用主要用于灌溉。通常对灌溉用水的水质要求为：①应不传染疾病，确保使用者和公众的卫生健康；②不破坏土壤的结构与性能，不使土壤退化或盐碱化；③不使土壤中的重金属和有害物质的积累超过有害水平；④不得危害作物的生长；⑤不得污染地下水。

表 5—3 城市废水资源化途径

城市回用	风景景观及环境用水	与人体接触——游泳 偶尔与人体接触——垂钓、划船 不与人体接触——景观、湖泊、河道 湿地、滩涂、野生动植物栖息地
	市政与建筑用水	浇洗马路、消防用水 建筑用水 中水道用水
	城市绿地灌溉	高尔夫球场、运动场 公园、墓地、草坪 高速公路绿带以及其他公共绿地
	供水	饮用供水 非饮用供水
	其他杂用水	冲刷地板、马路、擦洗汽车等
工业回用	冷却用水	一次性通过冷却用水 循环冷却系统补给水
	工艺用水	
	锅炉补给水	
农业回用(含 林、渔、牧)	食用作物灌溉	葡萄园、果园、蔬菜园、谷物
	非食用作物灌溉	纤维作物(棚、麻等)、饲食作物；种子作物
	森林灌溉	灌木、乔木、森林绿地
	渔业用水	
	牧场用水	
地下水回灌		防治海水入侵 回灌至饮用蓄水层 回灌至非饮用露土层

为了使再生水回用农业的水质符合以上要求，以保障人民身体健康，促进农业持续发展，世界卫生组织以及各国均制订了污水灌溉农田的水质标准。我国最新颁布了“农田灌溉水质标准(GB5084—92)。

### (三)城市废水资源化实例

作为解决水资源短缺的重要对策之一，国内外对城市废水的资源化与回用都十分重视，并取得了许多成功的经验。以下列举一些废水资源化的成功实例，以

供我国广大缺水地区在探索、研究和推广废水资源化中借鉴和参考。

### 1. 美国的废水再生与回用

美国城市废水的再生与回用起步较早。目前全美回用城市废水量达  $9.37 \times 10^8 \text{m}^3 / \text{a}$ ，包括① 回用灌溉  $5.81 \times 10^8 \text{m}^3 / \text{a}$  (占 62%)，其中农业灌溉  $2.75 \times 10^8 \text{m}^3 / \text{a}$ ，景观灌溉  $0.46 \times 10^8 \text{m}^3 / \text{a}$ ，其他为  $2.6 \times 10^8 \text{m}^3 / \text{a}$  ② 工业回用  $2.86 \times 10^8 \text{m}^3 / \text{a}$  (占 31.6%)，其中工艺用水  $0.91 \times 10^8 \text{m}^3 / \text{a}$ ，冷却水回用  $1.96 \times 10^8 \text{m}^3 / \text{a}$ ，锅炉补给水  $0.09 \times 10^8 \text{m}^3 / \text{a}$ ；③ 回灌地下水  $0.47 \times 10^8 \text{m}^3 / \text{a}$ ；④ 其他回用(娱乐、养色、野生动物栖息地等)  $0.13 \times 10^8 \text{m}^3 / \text{a}$ 。

全美有再生水回用点 536 个，其中加州有 238 个。下面介绍美国废水再生与回用的几个实例。

(1)加利福尼亚州稿子县 21世纪水厂再生水回灌地下：该城市由于超量开采地下水，造成地下水位低于海平面，促使海水不断流向内陆，致使地下淡水退化不宜饮用。为防止地下水位下降造成海水入侵，美国加州稿子县早在 1965 年就开始研究将三级处理出水回灌地下，以阻止海水入侵。稿子县为此兴建了“21 世纪水厂”，该厂设计能力为  $5678 \text{m}^3 / \text{d}$ 。原水为城市污水二级处理出水，进一步经沉淀、过滤和活性炭处理后回灌地下水。由于回灌地下总溶解性固体的限制为  $500 \text{mg} / \text{L}$ ，因此一部分再生水在回灌地下水之前还采用反渗透法进行了脱盐。21 世纪水厂的净化水通过 23 座多点注入管井分别注入四个苦水层，与深层蓄水层井水以 2:1 的比例混合以阻止海水的入侵。该项工程表明：人工控制海水入侵是可行的；城市废水经深度处理后能够达到饮用水水质标准；工程经长期运行证明稳定、可靠。

(2)佛罗里达州圣彼得斯堡的废水再生与回用：该市是城市废水回用的先驱之一。1978 年实施了双配水系统，供给用户两种质量的水(饮用水和非饮用水)，再生水开始用于非饮用水目的的使用。1991 年该市向 7000 多户家庭及办公楼提供再生水  $8 \times 10^4 \text{m}^3 / \text{d}$ ，并用作公园、操场、高尔夫球场灌溉用水以及空调系统冷却水和消防用水。

该市共有四座污水处理厂，总处理能力达  $270 \times 10^3 \text{m}^3 / \text{d}$ ，采用活性污泥生物处理工艺，并附加有幅盐混凝、过滤及消毒处理，双管供水系统管道共长 420km。通过 10 口深井将多余的再生水注入盐水苦水层，一年间平均约有 60% 的

再生水注入深井。

由于使用再生水，节约了优质水，因此尽管该市人口增加了 10%，但饮用水仍能满足供应。

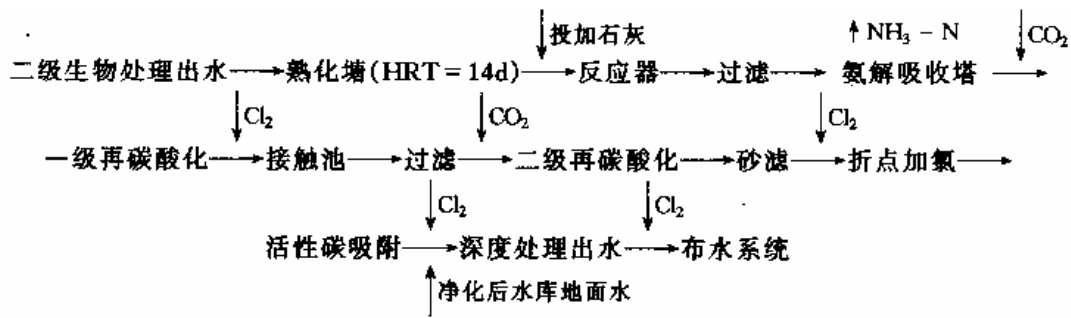
(3)亚利桑那州派洛浮弟核电站回用再生水作冷却水：该核电站是美国最大的核电站。第一期三个反应堆分别于 1982、1984 及 1986 年投产，每个发电能力为 1270MW。此外拟再建二个反应堆。核电站地处沙漠，严重干旱，因此采用再生水作为冷却水。再生水来自二座城市废水处理的二级生物处理出水。输至核电站再经补充处理，使之达到所需水质。该核电站采用冷却水系统，补给水约  $200 \times 10^3 \text{m}^3 / \text{d}$ 。

## 2. 日本的废水再生与回用

日本近 20 多年来在废水再生和利用方面进行了大量研究开发和工程建设。1986 年城市废水回用量达  $6300 \times 10^4 \text{m}^3 / \text{a}$ ，占全部城市废水处理量的 0.8%。再生水主要回用于中水道、工业用水、农田灌溉、河道补给水等。各种用途及其所占的比例为：中水道系统为 40%、工业用水 29%、农业用水 15%、景观与除看 16%。中水道系统是日本污水回用的典型代表。1988 年日本共建有中水道 844 套，其中办公楼、学校为大户。学校占 18.1%、办公楼占 17.3%、公共楼房占 9.2%、工厂占 8.4%。中水道再生水主要用于冲洗厕所(占 37%)、冲洗马路(占 16%)、浇洒城市绿地(占 15%)、冷却水(占 9%)、冲洗汽车(占 7%)、其他(景观、消防等)为 16%。

## 3. 其他国家的废水再生与回用

世界上第一座将城市废水再生水直接用作饮用水的回收厂设在纳米比亚的首都温德和克市。该回收厂于 1968 年投产，第一阶段产水量为  $2300 \text{m}^3 / \text{d}$ ，正常处理能力可达  $4500 \text{m}^3 / \text{d}$ ，以后增至  $6200 \text{m}^3 / \text{d}$ 。原水为城市废水厂二级生物处理出水，处理流程如下：



深度处理水的水质经严格的水质监测，证明符合世界卫生组织(WHO)及美国环保局发布的标准。

以色列属半干旱国家。再生水已成为该国的重要水资源之一。100%的生活废水和 72%的城市废水已经回用。据 1987 年资料，全国废水总量  $2.5 \times 10^8 \text{m}^3$ ，处理量达  $2.18 \times 10^8 \text{m}^3$ ，处理率接近 90%。再生水用作灌溉达  $1.046 \times 10^8 \text{m}^3$  (占 42%)，回灌地下为  $0.7 \times 10^8 \text{m}^3$  (占 29%左右)，排海水量  $0.7 \times 10^8 \text{m}^3$  (占 29%左右)。废水处理贮存于废水库。全国共修建 127 座废水库，其中地面废水库 123 座，地下废水库 4 座。废水进行农业灌溉之前一般通过稳定塘系统处理。有些城市将城市二级生物处理出水，再经物化处理回用于工业冷却水。此外，废水经深度处理后回灌地下水，再抽出至管网系统，或并入国家水资源调配系统，输送至南部地区。或用于一般供水系统，员南部地区甚至将它作为饮用水源。

由于采取了上述废水回用的措施，以色列大大提高了水资源的有效利用，从而缓和了水资源短缺对社会经济发展的制约作用。

科威特利用经三级处理后的城市废水进行农业灌溉。印度迄 1985 年，至少有 200 个农场利用城市废水进行灌溉，面积达  $23000 \text{hm}^2$ 。沙特阿拉伯 1975 年利用再生水量  $90000 \text{m}^3 / \text{d}$ ，2000 年计划用水量为  $190 \times 10^4 \text{m}^3 / \text{d}$ ，将有 10%取自经二级处理乃至三级处理后的城市废水再生水。

#### 4. 我国的废水再生与回用

我国长期以来有利用生活污水用于灌溉农田的经验。先后开辟了 10 多个大型污水运溉区，灌溉面积达  $(130—140) \times 10^4 \text{hm}^2$ 。在我国北方干旱地区，利用污水灌溉农田，可充分利用其水肥资源发展农业生产，确实收到了一定效果。但由于一些污溜区地址选择不当，设计不合理，废水预处理不够，又缺乏水质控制

标推和及时的监测，出现了土壤、农作物及地下水的严重污染，威胁着人体健康和安。若干年前，曾开展大规模的污灌区环境质量综合评价工作，研究与制订了污水灌溉与污泥用于农田的各项环境标准与规定，已将污水农业利用引向科学的道路。

由于我国不少地区，如北方地区水资源紧缺，迫切需把城市废水作为第二水源加以回收利用，实现废水资源化。为此，国家组织了有关开发城市废水资源化工工艺的科技攻关，研制成套技术设施，建立示范工程，并逐步推广应用。攻关内容包括工业回用、市政景观利用的水质处理技术、水质标准、卫生安全评价、中小城镇和住宅小区污水回用技术的研究等。一些成果已在天津纪庄子污水处理厂改造工程中应用。并在天津、太原、大连等城市建设了污水回用工程。例如，大连春柳污水处理厂的二级生物处理出水经深度处理后用于冷却水，回用水量 $300\text{m}^3/\text{d}$ ；太原杨家堡污水处理厂采用生物填料接触氧化法处理城市污水用于冷却水，回用水量为 $200\text{m}^3/\text{d}$ ；北京高碑店热电厂亦将高碑店污水处理厂的出水作为冷却水水源。经过十多年来的努力，我国在城市废水资源化以及回用方面取得了一定的成绩，为今后更大范围的推广应用奠定了坚实的基础。随着我国城市污水处理厂的普及与兴建，废水再生利用规模和速度亦将迅速发展。

#### 四、流域或区域水污染综合防治对策

水环境是一个复杂的大系统，水污染防治必须着眼于整个流域或区域。《中华人民共和国水污染防治法》第 10 条也明确规定：防治水污染应当按流域或者区域实行统一规划。随着社会经济的快速发展和大量污水的肆意排放，我国许多河流和湖泊受到不同程度的污染。污染严重的代表性河流有“三河”（淮河、辽河和海河）和“三湖”（滇池、太湖和巢湖）。开展这些河流和湖泊的水污染防治的综合规划与整治是十分重要的和迫切的，已成为国家水环境保护和污染防治的重要内容。

我国流域水污染的防治始于 20 世纪 80 年代。第一松花江流域的水污染防治在“六五”期间取得了较大的成果。目前“三河”和“三湖”的水污染综合防治规划也在积极进行和实施之中。



在进行流域或区域水污染防治规划时，应注意考虑以下问题：

#### 1. 全面分析和调查流域或区域水环境问题以及水污染现状

制订流域或区域水污染综合防治对策，首先要了解该流域或区域待解决的水环境问题和类型。因此，需对流域或区域的水环境问题进行全面分析。详细调查流域各河段的水质现状、污染源类型(工业、农业和生活污染源，点源和面源)、排故负荷及其时空分布，并确定优先控制顺序。

#### 2. 明确保护目标

对流域或区域中所有的水体均应按功能进行水体划分，并按不同的水质标准要求，确定保护目标。特别应把城市饮用水源地的保护放在首位。划定分级保护区。在饮用水源地保护区内严禁从事一切污染水源的工程项目建设、旅游活动、生产活动及其他活动，以确保饮用水源的水质及人民的健康安全。

#### 3. 应注意防治地下水的污染

应加强地下水污染的防治。据统计，全国饮用地下水的人口占 82%。目前，普遍存在的地下水位下降和水质恶化问题直接危及全国大多数人饮用水的安全供给。应根据各地区的水文地质条件，对地下水资源进行合理开采，实行地面水和地下水的联合调控，有条件的地区进行人工回灌地下水。严格控制各类工农业污染扼，包括点源和面源对地下水的污染。

#### 4. 把水污染防治和水资源利用结合起来

我国是一个水资源 E 乏的国家，应充分注意水资源的合理和有效利用。水污染防治规划中应与水资源利用有机地结合，根据该流域或区域社会经济的近朗发展和远朗规划对水资源的需求，对水量和水质进行统筹考虑和规划，以保证国民经济的可持续发展。同时应积极报行废水资源化。

#### 5. 应按流域或区域实行污染物排放总量控制

根据流域或区域水体的环境容量确定允许排入水体酌污染物总量，再按总体规划分配至各污染源，确定其最大允许排污总旦。根据允许的污染物排故总量，各地环境保护部门可要求各排污单位限期治理，发放排污许可证，并通过对污染物排放量的监测确保水体的环境质量。

#### 6. 制订污染物总量削减方案

对流域或区域的各类污染源，应制订合理的污染物总量削减措施和方案，迅

速、有效地削减排入水体的污染物总量。在污染物总量削减方案的制订过程中，应注意贯穿污染全过程控制的指导思想，从淘汰落后工艺，调整工业结构；加强技术改造，完善企业管理措施；强化区域环境管理措施；实施清洁生产；综合利用与综合治理；区域集中控制等 6 个方面，进行综合考虑。

## 第二节 大气污染防治

能源生产和消耗是我国大气污染的主要来源。本节将从提高能源效率和节能、洁净煤技术、开发新能源和可再生能源、机动车污染控制以及工业污染防治等方面简要讨论大气污染防治措施。

### 一、提高能源效率和节能

与中国经济的规模相比，中国属能源高消费的国家。中国的能源工业面临两方面的挑战，既要满足经济发展对能源的需求，又要同时考虑大气环境保护的因素。《中国 21 世纪议程》把提高能源效率和节能，作为可持续发展战略的关键措施。中国正在实行从传统的计划经济向市场经济的转变、从粗放型经济向集约型经济转变，必将大大推进能源效率的提高和节能。

为实施“坚持资源开发与节约并重，把节约放在首位”的能源发展战略，中国政府不仅注意充分发挥市场对资源配置的基础性作用，还利用政府酌宏观调控职能，研究制订了相应的法规、政策和规划。1996 年 5 月国家科委、国家经贸委和国家科委联合制订了《中国节能技术政策大纲》，提出各行业节能技术方向和目标。随后又联合推荐 106 项重点推广节能科技成果。1996 年 9 月，国家经贸委支持的“中国绿色照明工程”全面启动，在全国范围内组织实施。1997 年 11 月，《节约能源法》颁布实施。在制定节约能源的决策和规划时，中国政府把技术进步和环境保护放在重要位置。

目前，节能领域的国际交流与合作空前活跃。中国在高效电光源、洁净煤技术等方面，进行了广泛的人员、信息交流和技术、经济合作；引进了电力需求侧管理、综合资源规划等适合市场的经济的规划和管理立法；利用世界银行等国际组织和外国政府提供的优惠贷款和赠款，建设了一批节能、新能源开发和教育培

训等项目，提高能源效率和节能持在大气污染防治中起越来越重要的作用。

通常用能源消耗强度衡量一个国家经济的能源效率。能源消耗强度可以定义为单位国内生产总值所消耗的初级能源。自 1980 年以来，中国政府在全国范围内广泛开展了卓有成效的节能活动，实施有助于结构和技术变化的各项政策，对能源消耗强度的降低起到了决定性的作用。到目前为止，中国的能源消耗强度下降了 50%(图 5—2)，每年约下降 4.5%。

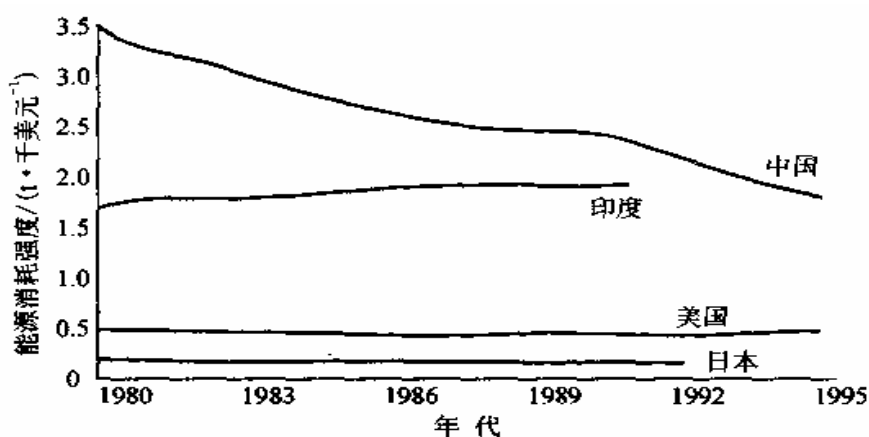


图 5—2 19 助一 1995 年各国的能源强度比较(SSB1996; LBNL 1996 和 IMF1996)

中国能源消耗强度的降低主要归功于工业能源效率的提高。影响工业能源效率提高的因素有①结构性因素，即对中间及最终产品和服务的需求变化。它被认为是推动工业能耗降低的主要动力，据估算，以产品种类的变化为主导的工业结构调整占工业能源消耗强度下降总量的 70%。②技术性因素，即产品生产及服务中技术的变化和能源管理。它对工业能源消耗强度的下降也起到了重要作用。

虽然中国的能源消耗强度已有了大幅度下降，但中国仍是世界上单位能源消耗最高的国家之一。1995 年中国的能源消耗强度是美国的 4 倍左右(图 14—2)，工业在中国经济中的作用大于日本和美国，而中国的工业仍过分依赖于低效率、小规模的生产方式，且能源技术、特别是能源密集型产业和主要能源消耗设备的效率还远远落后于西方工业化国家(表 5—4)。据测算，若按目前的趋势发展，到 2000 年中国的能源消耗强度将达到每 1000 美元国内生产总值消耗 0.586t 标准煤，与 1995 年相比，虽然降低了 40%，但仍然比目前美国的水平高 40%。由此可见，中国在减低能源消耗强度方面仍大有潜力。

表 5-4 中国工业部门与 OECD 国家能源利用率的比较

技术和生产过程	中国平均效率水平	OECD 国家效率水平
工业锅炉/ %	65	>80
发电(燃煤电厂)/g·(kw·h) <sup>-1</sup>	414	<350
炼钢/GJ·t <sup>-1</sup>	40	20
生产水泥(窑炉)/kg·t <sup>-1</sup>	170	190
鼓风机和泵/ %	5	78.5
电力马达/ %	8	92

中国的节能重点为：①燃煤电厂。据统计，1995 年全国共有燃煤机组 2910 单元。其中装机容量小于 100MW 者占 81.5%，数量众多的小机组是导致中国供电煤耗居高不下和大气污染的主要原因。②工业锅炉。工业锅炉的煤炭消耗量约占中国总耗煤量的 30%，是节能潜力最大的终端用能设备。现在中国约有 50 万台工业锅炉。平均容量仅为 2.4t/h，77% 以上的锅炉小于 4t/h。减少这些量大面广的小锅炉，不仅可使低矮污染源对局部地区环境质量的影响减小，为集中进行二氧化硫排放控制创造条件，也使工业锅炉的平均热效率显著提高。如果工业锅炉的平均热效率提高到 OECD 国家的目前水平，中国在 1995 年能源使用上的一次性节能量可达  $7000 \times 10^4$  t 标准煤，减少二氧化硫排放量约  $110 \times 10^4$  t。

③钢铁工业。钢铁工业的能耗占中国总能源使用量的 10% 左右。在钢铁工业的能源消费量中，煤和焦炭占 74.7%。对于重点钢铁工业，能耗最高的工序依次为炼铁、电炉炼钢和焦化。钢铁工业的主要节能措施包括降低铁钢比、推行连铸、减少平炉钢、推广高炉喷煤等。如果中国的吨钢能耗提高到目前 OECD 国家的平均水平，中国在 1995 年能源使用水平上的一次性节能量可达  $6000 \times 10^4$  t。近年来，由国家专项贷款和企业自筹的钢铁工业节能技术改造投资每年达亿元以上，形成年节能能力约  $70 \times 10^4$  t 标准煤。

④建材工业。建材工业能源消费量占全国煤炭消费量 17% 以上，也是节能潜力较大的工业部门。

在许多情况下提高能源效率和节能是减少污染物排放的有效方法。并且，在所有污染防治技术中节能是且经济的方法，不但减少了温室气体的排放，还节约了能源，具有相当的经济效益。

## 二、洁净煤技术

### (一)中国洁净煤技术发展战略

洁净煤技术是指从煤炭开发利用的全过程中,旨在减少污染排放与提高利用效率的加工、燃烧、转化及污染控制等新技术。主要包括煤炭洗选、加工(型煤、水煤浆)、转化(煤炭气化、液化)、先进发电技术(常压循环流化床、加压流化床、整体煤气化联合循环)、烟气净化(除尘、脱硫、脱氮)等方面的内容。

中国是世界上最大的煤炭生产国和消费国,传统的煤炭开发利用方式导致严重的煤烟型污染,已成为中国大气污染的主要类型。由于这种以煤为主的能源格局在相当一段时期内难以改变,发展洁净煤技术是现实的选择。

目前洁净煤技术作为可持续发展战略的一项重要内容,受到了中国政府的高度重视,其发展已被列入《中国 21 世纪议程》。

中国政府制订适合国情的洁净煤技术发展战略主要包括:一是注重经济与环境协调发展,重点开发社会效益、环境效益与经济效益明显的实用而可靠的先进技术 E2 是要覆盖煤炭开发和利用的全过程;三是重点针对多终端用户,主要是电厂、工业炉窑和民用 3 个领域。同时,应把矿区环境污染治理放在重要的位置。根据(中国洁净煤技术“九五”计划和 2010 年发展纲要),中国洁净煤技术主要包括煤炭加工、高效洁净燃烧和发电、煤转化、污染排故控制及废弃物处理 4 个领域,涉及煤炭、电力、化工、建材、冶金 5 个主要行业。当前选择 14 项技术,并按 3 个层次组织实施,即优先推广一批技术成熟、在近期能够显著减少烟煤污染的技术(如选煤、型煤、配煤、烟气脱硫等);示范一批能在 20 世纪末或 21 世纪初实现商业化的技术(如增压循环流化床发电、大型循环流化床、工业型煤等);研究开发一批起点高、对长远发展有影响的技术(如煤炭液化、燃料电池等)。

解决煤炭含硫造成的污染是洁净煤技术的重点课题之一,从中国的实际出发,应实行统筹规划、合理分工,以国家发布的排放标准为依据,以经济实用为目标,寻求各种脱硫措施的合理组合,体现煤中硫生命周期全过程控制的指导思想。首先应限制高硫煤的开采和使用,目前中国高硫煤总产量约为  $9600 \times 10^4 \text{t}$ ,仅为煤炭总产量的 7%。但其燃烧排故的二氧化硫却占燃煤二氧化硫排放总量的 20%左右。限制高硫煤开采总体上不会影响中国能源生产和消费结构的平衡,是减排二氧化硫的有效措施。其次可通过煤炭洗选加工脱除 50%—70% 的黄铁矿

硫；燃烧中国硫包括燃用固硫型煤或配煤和采用循环流化床锻炉实现炉内脱硫；烟气净化脱硫。

## (二)中国洁净煤技术研究进展

### 1. 选煤

选煤是发展洁净煤技术的源头技术。1997年中国有选煤厂1571座，选煤能力483.15Mt，入选量338.19Mt，入选率25.73%。煤炭洗选的重点已由炼焦煤转为动力煤。

目前，中国已成功研究出可分选粒径小于0.5mm粉煤的重介质旋流器、水介质旋流器、离心摇床和多层平面摇床，适用于高硫难选煤中黄铁硫矿的脱除。选择性絮段法、峦梯度磁选法脱黄铁硫矿的研究也取得了一定的成果。煤炭科学研究总院唐山分院开发的复合式干法分选机，其性能优于风力跳汰和风力摇床。中国矿业大学开发的空气重介质流化床干法选煤技术已实现工业化，在黑龙江省建成了世界上第一座空气重介质流化床干法选煤厂，这是选煤技术的一次重大突破。已研制成功的50t/h空气重介质流化床干法选煤机，其技术水平处于国际领先地位。

### 2. 型煤

型煤被称为“固体清洁燃料”。煤经过破碎后，加入固硫剂和粘台剂，压制成有一定强度和形状的块状型煤，燃用型煤可减少烟尘、SO<sub>2</sub>和其他污染物的排放。目前，中国民用型煤技术已达国际水平，实现了商业化，年生产能力约50Mt，无烟煤下点火蜂窝煤得到全国推广，烟煤、褐煤上点火蜂窝煤排烟技术也取得突破。

最近几年，中国工业型煤研究取得很大进展。北京煤化所研究开发了优质化肥造气用型煤、煤气化用煤泥防水型煤、发生炉及工业窑炉型煤等多项型煤技术。中国矿业大学北京研究生部完成的第3代洁净型煤技术，采用独特的“破粘、增粘”工艺，突破了型煤筒效无烟燃烧、高固硫、低烟尘、致癌物分解等关键技术，通过改变调整型煤的多项煤质指标，实现了型煤的多样化、专业化和系列化，建立了测定评价型煤工艺参数的成套方法，并研制出高性能价格比的型煤系列专用设备、超短型煤工艺流程，以及由工业废弃物制成的廉价添加剂。“九五”期间，中国工业型煤规划新增产量 $3300 \times 10^4$ t，其中工业燃料型煤 $2000 \times 10^4$ t，

工业气化型煤 $1300 \times 10^4$  t。

### 3. 水煤浆

根据中国能源组成特点和能源地理分布的不均衡性,中国水煤浆技术开发旨在解决工业锅炉、窑炉及电站的节油、代油、节能,并降低燃烧污染物的排放。同时,水煤浆管道德送技术减轻了煤炭调运结铁路运输和大气洁净皮带来的沉重负担。

目前,中国已掌握了一套完整的水煤浆生产使用技术,迄今已建成总能力为100万 t/a的6个制浆厂,2个添加剂厂,3个覆盖制浆、贮存、管道德送、锅炉和窑炉燃烧全过程的水煤浆实验研究中心,还建立了中国水煤浆成浆性数据库和多个商业性示范工程,已具备工业化应用的条件。山西孟县至山东靛坊年运量5Mt水煤浆输送管道已开始建设。山东鲁南化学工业集团在引进国外软件包的基础上,开发成功了世界上第5套水煤浆加压气化及气体净化制合成氨生产装置,国产化率达90%以上,解决了用普通褐煤、烟煤造气的世界性难题。之后,中国引进的大型水煤浆气化生产煤气、甲醇和合成氨装置,先后在上海焦化总厂、陕西渭河化肥厂建成投产。这标志麓中国水煤浆气化技术已跨人先进国家行列。

### 4. 硫化床燃烧

流化床燃烧是一种新型燃烧方式。在燃烧过程中,加入以石灰石为主的脱硫刑,可以有效地控制 $SO_2$ 的排放。相对较低的燃烧温度也大大降低了氮氧化物的生成。工业上分为常压循环流化床(CFBC)和增压流化床(PFBC)。

目前,国内已建成常压循环流化床装置18台,单台容量最大为410t/A。在设计基础研究方面也取得了一些进展。1998年,清华大学完成了循环床专用设计软件,另外还完成了镇海石化220t/h 燃用石油焦循环床的仿真机开发。与四川锅炉合作进行125MW再热炉型的工程设计研究。1999年将着重于220t/h、410t/h国产循环流化床锅炉的开发工作。

中国增压流化床技术开发进入示范工程阶段。由东南大学和徐州贾旺电厂共同承担的“九五”攻关项目“增加流化床联合循环工程中试试验”已完成全系统调试。

### 5. 整体煤气化联合循环(IGCC)

煤气化联合循环发电是目前世界发达国家大力开发的一项高效、低污染清洁

煤发电技术，发电效率可达 45% 以上，极有可能成为 21 世纪主要的洁净煤发电方式之一。中国 IGCC 关键技术研究已启动，工程示范项目处于立项阶段。该项目的研究内容包括 IGCC 工艺、煤气化、煤气净化、燃气轮机和余热系统方面的关键技术研究。其成果将为中国建设 IGCC 示范电站打下技术基础。

## 6. 煤炭气化及液化

煤经过化学加工可以转化为清洁的气体燃料或液体燃料，分别称为煤的气化或液化。目前全国每年气化用煤量约 60Mt。中国中小型气化以块煤固定床气化技术为主。普遍存在技术水平落后、效率低、污染严重等问题；大型煤气化以技术引进为主，有 3 组德士古水煤浆气化装置投入生产化工合成气；常压粉煤流化床气化在上海三联供项目中投入运行，加压固定床技术用于化肥和城市煤气生产。1995 年中国矿业大学开发的“长通道、大断面、两阶段地下气化。技术在唐山刘庄煤矿进入工业性试验，1997 年 9 月通过了技术鉴定。“短壁气化回来”技术结合气化技术和井下采煤技术，采取井下操作，分条带实现气化，具有井下操作、投资低的特点。该技术于 1997 年 8 月至 1998 年 1 月在依兰煤矿进行了 40m<sup>2</sup>工作面空气煤气造气试验 1998 年 6 月至 8 月在义马煤矿进行了试验通气，后在臼壁煤矿气化工作面投产，日气化煤 40t。

煤炭直接液化技术是指煤直接通过高温高压加氢获得液化燃料或其他液体产品的技术。20 世纪 80 年代以来，北京煤化所开展国际合作，已建成具有世界先进水平的煤炭液化油品提质加工和分析检验实验室，建有 3 套规模为 0.1t/d—0.12t/d 的煤炭直接液化连续试验装置，掌握了直接液化、煤液化油提质加工为汽油、柴油的工艺，达到了发达国家同期的研究水平。直接液化由于经济上的原因，尚需进一步等待时机，其示范装置不久将建成。

煤炭间接液化技术是指煤先经过气化制成 CO 和 H<sub>2</sub>，然后进一步合成，得到烃类或含氧破化燃料和化工原料的技术。中国科学院山西煤化所将传统的 F-T 合成法与选择型分子筛相结合，开发成功煤圣合成汽油新工艺(MFT)，相继完成了工业单管模式和中间试验，已建成年产 2000t 汽油、副产 7.5Mm<sup>3</sup>城市煤气的工业示范性装置。为中国多煤少油地区的煤炭能源转化开辟了一条切实可行的有效途径。

## 7. 污染控制



目前，中国自行研制开发了旋转喷雾干燥脱硫技术、磷铵肥法脱硫等新工艺，掌握了喷雾干燥脱硫技术。清华大学还试验成功了烟气脱硫剂悬浮循环技术。对中小型工业锅炉投资少、脱硫效果好同时兼具除尘效果的旋流塔板吸收法烟气净化技术，也在研究开发之中。目前中国燃煤电厂已建或在建的脱硫设施有 15 项，正在进行或已经通过可行性研究报告审查的脱硫项目有 9 家。

#### 8. 煤系废弃物综合利用

中国煤炭资源的大量开采和低效率的利用，产生了大量煤泥、煤矸石、炉渣、粉煤灰等废弃物。这些废弃物利用技术已日趋成熟(如煤泥制水煤浆、煤泥和煤矸石燃烧、混烧技术、炉渣作水泥原料、粉煤灰制作各种建材的成型技术)，有待于推广和应用。

经过政府的倡导和支持以及广大科技工作者的共同努力，中国洁净煤技术取得了较大进展，基本覆盖了煤炭开发利用的全过程。但与发达国家相比，尚有较大差距。大力发展洁净煤技术，是中国煤炭工业的未来和希望，对其他相关工业也特产生重大影响。

### 三、开发清洁能源和可再生能源

目前，在世界能源消费结构中，石油占 40%，煤炭占 27%，天然气占 23%。但是随着人们对环境与资源保护意识的提高，能源结构将会有较大的改变。优质、高效、洁净的能源(如天然气、风能、太阳能等)在 21 世纪特有长足的发展，美国马奇蒂博士(C. Marchetin)对世界一次能源替代趋势的研究结果如图 5—3 所示。

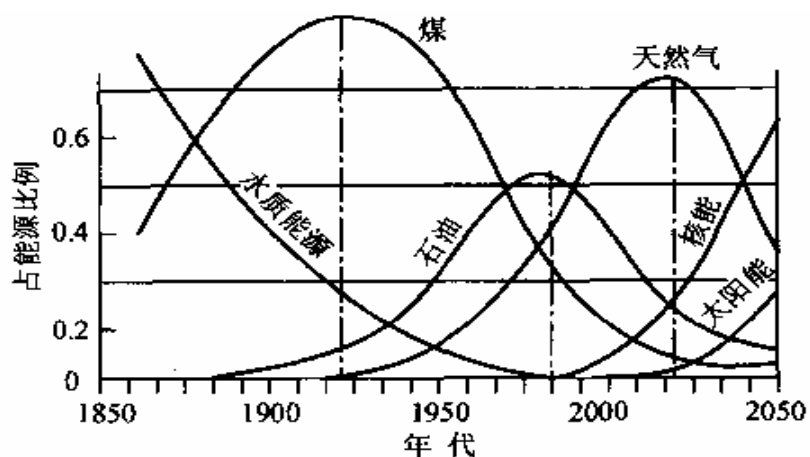


图 5—3 世界一次能源替代趋势

从图中不难看出，这种能源取代的本质是能源的开发利用从资源型向技术型转化的过程，从粗放式利用向高效率利用的转变进程，从污染环境到保护环境的提高过程。

### (一)世界清洁能源的发展

目前，世界上发展较快的清洁能源主要是地热能、风能、太阳能、天然气等。

#### 1. 地热能

地热能相当于地球上全部煤贮量的 1.7 亿倍，而且地热电站一般不需要庞大的燃料运箱设备，也不排放烟尘。地热蒸汽发电排放到大气中的二氧化碳量远低于燃气、燃油、燃煤电厂。但地热电站释放的  $H_2S$  等有害气体对大气也会造成一定程度的污染，其含盐废水、噪音以及因其而造成的地面沉陷等(虽不严重)，也形成了一定的危害。

#### 2. 风能

风是地球上潜力巨大的能源。如能将地球上 1% 的风能利用起来，即可满足整个人类对能源的需求。风力发电是目前增长最快的能源，1996 年全球风电装机容量增长了 26%，达到 6070MW。促使风力发电飞速增长的原因在于发电成本的不断下降，预计到 2000 年，风能的发电成本将降至每度 4—5 美分，这特使风力发电成为世界上最便宜的能源。

尽管目前风能所提供的电量还不足全球总发电量的 1%，但它将很快成为人类可靠的动力来源之一。可以相信在今后 20 年内，致以万计的风轮机将出现在风能资源丰富的地区，并能满足这些地区所需能量的 20%—30%。

#### 3. 太阳能

太阳能是取之不尽、用之不竭的清洁能源，但急需经济实用的太阳能利用技术。

#### 4. 氢能技术

氢能技术目前尚处于研究开发阶段，预计 2030 年可推广应用。

#### 5. 核能

快中子增殖堆处于示范阶段，预计 2010 年商业化阶段。预计 2050 年后可能商业化。

#### 6. 燃料电池

燃料电池的研究尚处于示范阶段，预计 21 世纪初商业化。

### (二)中国清洁能源的发展

#### 1. 天然气

中国的天然气生产潜力巨大，据“九五”规划，到 2000 年天然气产量要达到  $255 \times 10^8 \text{m}^3$ 。天然气生产主要集中在三个地区：一是陕甘宁地区，现已探明天然气储量为  $2300 \times 10^8 \text{m}^3$ ，其含气范围还在进一步扩大；二是在四川东部地区，现已探明天然气储量为  $2000 \times 10^8 \text{m}^3$ ；三是在新疆地区，过去 5 年中探明天然气储量为  $1600 \times 10^8 \text{m}^3$ 。此外，在青海东部的涩北地区，也发现了一个新气田，已探明储量为  $500 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

#### 2. 水电

目前中国所有可再生能源资源中，惟有水力发电发挥了重要作用。中国的水能理论蕴藏量为  $6.76 \times 10^8 \text{kw}$ ，年发电量为  $5.92 \times 10^{12} \text{kw} \cdot \text{h}$ ，其中可开发装机容量  $3.78 \times 10^8 \text{kw}$ ，年发电量  $1.92 \times 10^{12} \text{kw} \cdot \text{h}$ 。与目前世界上一些国家的水电的开发情况相比，中国的水能资源理论蕴藏量居于世界首位，但是目前开发率很低，仅有总蕴藏量的 6.5%。尽管如此，近 40 年来中国的水力发电工业已逐步走向高速发展的轨道，水电装机容量年增长率高达 12.2%。1998 年中国的电力装机容量为 270GW，其中水电装机容量占 24.4%，大概有 64GW 左右，几乎为除煤以外其他能源发电能力的总和。

中国的电力工业在未来一段时期内，特大大增加对水力资源的利用。大力开发西部水能资源，建设西南、西北水电基地，加大“西电东送”的力度。在电力规划中提出到 2010 年水电装机容量达到总装机容量(530—560GW)中的 30% 的

目标。长江三峡大坝完工后，中国的水力发电能力将增加  $1.82 \times 10^4 \text{MW}$ 。中国正在建设另外一些水力发电项目，使水力发电继续成为中国仅次于煤的主要电力来源。

### 3. 太阳能和风能

中国，特别是其西部地区的太阳能资源也十分丰富。中国陆地上每年接收的太阳能能量达  $5.6 \times 10^{22} \text{J}$ ，相当于  $1.9 \times 10^{12} \text{t}$  标煤。中国有  $2/3$  的地区年平均日照时间超过 2000h。

中国风能资源的理论储量可达  $16 \times 10^8 \text{kw}$ ，实际可利用量为  $2.5 \times 10^8 \text{kw}$ ，有非常大的发展潜力。其中，中北部、西北部平原和东南沿海地区的风能资源十分丰富。此外，许多边远农村地区，特别在山区，可以开发风能资源供当地使用。

### 4. 生物质能

生物质能是中国最大的再生能源资源之一。生物质能包括稻草和林木种植以及农作物副产品(如谷壳、刨花和甘蔗渣等)。国家计划委员会估计，发展生物质能用于高效燃烧发电技术，每年能节省  $1.2 \times 10^8 \text{t}$  煤。厌氧发酵产生沼气是生物质能的另一种应用形式。估计目前中国有 600 万个生物发酵池，大多数是给附近的农户提供燃气。

### 5. 核能

中国从 20 世纪 80 年代开始制订了发展核电的技术路线和技术政策，1991 年中国自主建造的秦山核电厂实现并网发电。1994 年上半年，广东大亚湾核电站投入满功率运行。达两座核电厂的建成，标志着中国核电的起步。中国的核电发展潜力还很大。目前除了已建成和在建的核电站以外，已经完成初步可行性研究或已进行预评审的厂址达 10 余个，可容纳 40—50 台机组。预示着未来 20 年内核电装机容量将会迅速增加。

## 四、控制酸雨和二氧化硫污染的举措

酸雨污染是发生在较大范围的区域性污染，酸雨控制区应包括降雨严重的地区及其周边二氧化硫排放量较大的地区。而二氧化硫污染集中于城市，污染的主要原因是局部地区大量的燃煤设施排放二氧化硫。故二氧化硫污染控制区应以

城市为基本控制单元。

考虑到酸雨和二氧化硫污染特征的差异，及实施可持续发展战略的要求，1998年1月中华人民共和国国务院批准两控区总面积约为 $109 \times 10^4 \text{km}^2$ ，占国土面积的11.4%，其中酸雨控制区面积约为 $80 \times 10^4 \text{km}^2$ ，占国土面积的8.4%，二氧化硫污染控制区面积约为 $29 \times 10^4 \text{km}^2$ ，占国土面积的3%。“两控区”的具体范围见图5—4。

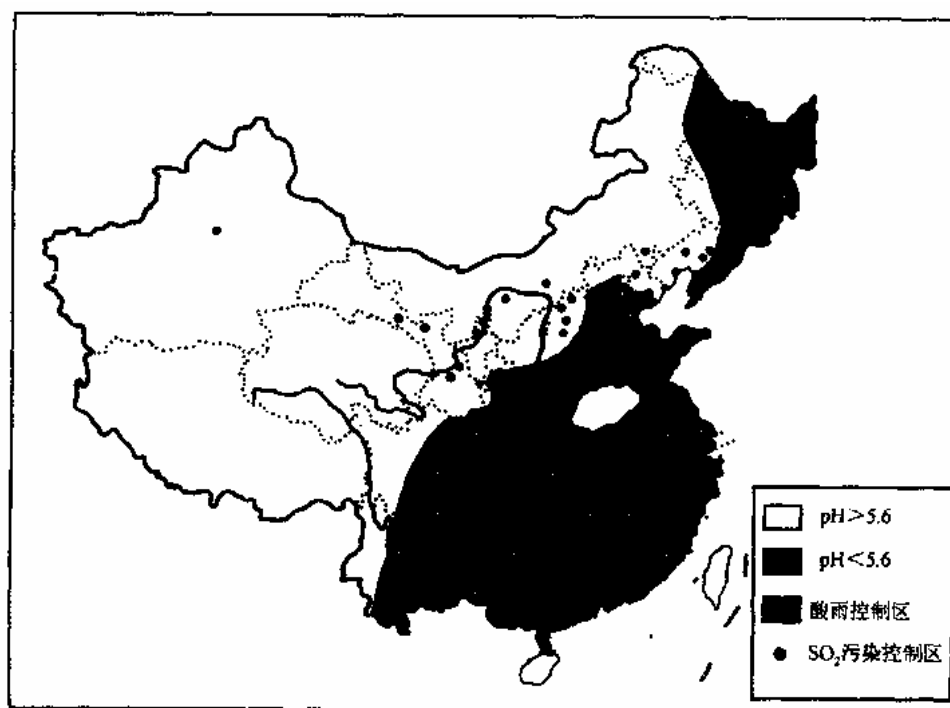


图5—4 “两控区”的范围

国务院批准的两控区控制目标为：到2000年排放二氧化硫的工业污染源达标排放，并实行二氧化硫排放总量控制；有关直辖市、省会城市、经济特区城市、沿海开放城市及重点旅游城市环境空气二氧化硫浓度达到国家环境质量标准，酸雨控制区酸雨恶化的趋势得到缓解。到2010年，二氧化硫排放总量控制在2000年排放水平以内；城市环境空气二氧化硫浓度达到国家环境质量标准，酸雨控制区降水pH小于4.5的面积比2000年有明显减少。

为实现“两控区”2000年和2010年污染控制目标，在执行已有的环境管理法律、法规和政策的基础上，还应进一步实施更有利于控制二氧化硫污染的政策与措施。

由于二氧化硫排放主要来源于煤炭的消费利用，我国控制二氧化硫排效应对煤炭中硫的生命周期进行全过程控制，见图 5—5。煤炭中硫的生命周期指煤炭经过开采、加工、运输、转换和终端使用等环节，其中的硫也经过了相应的环节。经历了从出生到进入大气环境的整个生命过程。由于煤中的硫可以在其生命周期内各个环节进行控制，因此，对煤炭中硫的生命周期进行全过程控制是经济有效的，既体现了我国污染控制由末端治理向全过程控制转移的战略，也促进了煤炭工业的可持续发展。

- 禁止审批新建煤层含硫分大于3%的煤矿；
- 已建成的生产煤层含硫分大于3%的矿井，到2000年一律关闭（定点供应有烟气脱硫且排放达标的用户除外）
- 新建、改建、扩建含硫分大于1.5%的煤矿，必须配套建设相应规模的煤炭洗选设施；
- 已建成的含硫分大于2%的煤矿，在2005年前补建煤炭洗选设施。
- 计划、交通运输部门要优先保证低硫煤、洗精煤向高硫煤地区的调入。
- 城市燃料供应部门供应的燃料含硫量，要符合当地政府规定的燃料硫分指标；
- 禁止进口含硫量高的燃料油和含硫量大于1%的煤炭。
- 新建、扩建、改建燃煤含硫大于1%的电厂，必须建设脱硫设施；现有燃煤硫分 $\geq 2\%$ 电厂在2005年前硫分在1%~2%电厂在2010年建成脱硫设施或采取其他控制SO<sub>2</sub>的措施；
- 工业锅炉和窑炉到2000年SO<sub>2</sub>达标排放；
- 对排放二氧化硫的污染源征收排污费；
- 到2000年，禁止市区民用炉灶直接燃原煤。

图 5—5 煤中硫的生命周期全过程控制政策

中国对国际上现有脱硫技术的一些主要类型都进行了研究和装置试验，少数引进国外的脱硫工艺已在可靠、有效地运行。现阶段我国电站锅炉脱硫的可用技术有煤炭洗选和烟气脱硫技术，工业锅炉和窑炉的可用技术有型煤固硫技术、洗后煤替代原煤和流化床燃烧技术。图 5—6 为各种减排技术的费用比较。

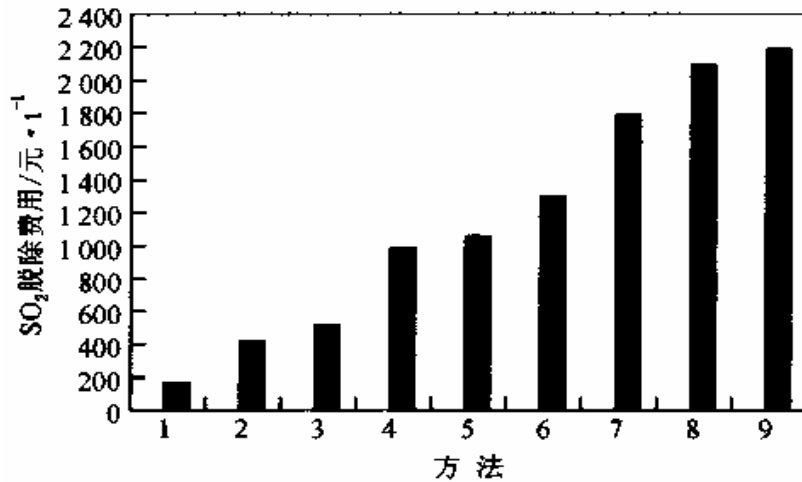


图 5—6 各种二氧化硫减排技术的费用比较

1. 替/换烧低硫煤；2. 替/换烧洗精煤；3. 民用炉灶改用清洁燃料；4. 安装烟气脱硫装置
5. 业锅炉改用天然气；6. 安装洗涤器；7. CFBC；8. LPFBC；9. IGCC

## 五、机动车污染控制

机动车污染与机动车保有量、燃料利用率、燃料性能及交通状况等诸多因素密切相关。随着机动车保有量的迅速增加和城市化进程的加快，中国一些大城市的大气污染类型正在由煤烟型向混合型或机动车污染型转化，机动车尾气排放已经成为主要城市的重要污染源。

### (一) 中国机动车排气污染特点

与世界平均水平相比，中国的汽车化程度仍然较低。但是由于城市道路建设的速度落后于机动车保有量的增加，交通拥挤一直困扰着大城市。中国主要城市中机动车行驶速度低，在北京市城市中心区高峰期的车速自 20 世纪 80 年代以来一直在下降，城市街道交通堵塞不仅造成无效益的等候浪费时间，而且造成燃料的无效利用，使大气污染更加严重。在市中心区低速行驶情况下的油耗是在高速公路上自由行驶时油耗的两倍。若车速从 20km/h 降为 15km/h，油耗会因此增加 25%。因此，交通堵塞的代价是高昂的。

为系统评估中国机动车的单车尾气排污水平，国家环境保护总局组织了典型在用轻型车、重型柴油发动机和摩托车排放因子的试验检测，其结果如表 5—5 所示。

表 5-5 中美排放因子对比

车型	平均基本排放因子/ (g · km <sup>-1</sup> )			
	中国		美国	
	CO	NOx	CO	NOx
轿车	43.0	1.3	3.1	0.4
微型车	25.3	2.1	3.1	0.4
吉普车	33.5	3.2	3.1	0.4
中型车	51.7	4.6	8	1.2

造成中国机动车污染程度高的部分原因是汽车设计落后, 尾气排放标准不够完善。此外, 中国燃料性能差也是造成机动车污染的主要原因之一。目前, 中国汽油供应中大约一半不合铅, 但其中大多数为低标号汽油, 主要用于低压缩比的卡车, 或者是供出口用的高级汽油。国内供应的 90 号或更高级别的汽油仅占汽油总消耗量的 20%。中国合铅汽油中平均台铅量为 0.12g/L, 低于亚洲国家的平均水平(0.15 g/L), 但高于国际标准(0.08 g/L)。北京市大气中铅含量为1—1.5 $\mu$ g / m<sup>3</sup>。较世界卫生组织标准高出 1 倍还多。中国政府现在加大了推行无铅汽油的力度。按规定, 自 2000 年 7 月 1 日起, 禁止生产、进口、销售含铅汽油。

中国柴油质量低劣, 稳定性低, 芳香族成分含量高, 从而造成柴油车颗粒物与烟气的排放水平高。另外, 中国柴油中硫的含量也偏高。

## (二)控制机动车污染的措施

日益增长的城市人口和家庭收入导致汽车占有量的上升, 转而产生更大的旅行嗜好和更多的对道路的需求。日益增加的工商业活动使更多的服务车辆投入城市街道, 并且增加货物运输的交通量。面对上升中的交通需求和增长中的负面影响, 城市应当重新审查交通需要, 协调各方面因素, 实现城市的可持续发展。

### 1. 调整交通需求

土地利用和交通综合战略有可能在不增加汽车交通需要的情况下, 使得人们更加方便地到达工作地点、商店和其他设施。各种研究报告指出, 在居住密度比较高以及工作和住所比较平衡的城市, 人们外出的次数少、行程短, 可以更多地步行或骑车。以欧洲和因本城市为例, 在密度很高的核心区内, 居民全部外出行动的 30%—60%可以步行或骑自行车。与之相反, 澳大利亚和美国分散型的城市则鼓励依靠汽车。

由于城市继续趋向分散, 公共交通系统的建设费用和运作费用高昂到使人无



法接受，而且分散的居住模式使得公共交通系统对一般乘客很不方便。因此，人口密度小的城市平均每户拥有汽车数量多于人口密度大的城市。

为了保证既满足居民的需要，又控制机动车的保有量，进行合理的城市规划，即调整交通需求是最有效的途径之一。

## 2. 清洁油品

车用燃料对车辆排放有很大影响，故要有计划地改善燃油品质。1995年修改后的《中华人民共和国大气污染防治法》规定：“国家鼓励、支持生产和使用高标号的无铅汽油，限制生产和使用含铅汽油”。国家环保局受国务院委托组织了有关十二个部委，成立了“国家淘汰车用含铅汽油协调小组”，起草了《关于限期停止生产销售使用车用含铅汽油的通知》。要求1999年7月1日起，直辖市、省会、特区等重要城市汽油无铅化；2000年1月1日起，汽油生产企业停止生产含铅汽油；2000年1月1日起，汽车制造企业生产的新车技术均适用无铅汽油。同时，北京市、上海市和广州市已经开始实施了汽油无铅化，天津、沈阳等大城市也拟定了汽油无铅化的目标。迄今为止，已有9个省提前实行了汽油无铅化。

改善油品质量的措施还包括取消低辛烷值汽油、提高汽油辛烷值、引进使用汽油发动机清洁剂等。已经在许多国家得到开发的一些低污染的碳氢化合物燃料包括液化石油气(LPG)、液化天然气(LNG)、甲醇、乙醇和生物气体，也是城市机动车可供选择的清洁燃料。

目前我国已制定了一系列加气站、贮气罐、接口等国家标准，并计划选择3—5个试点城市，推广清洁燃料汽车的使用。预计这项计划将很快实施。

此外，对于特殊种类车辆，通过替代燃料技术可以获得较好的环境效益。如北京市出租汽车仅占总保有量的6%—7%，但其排放的CO却占总排放的36%，因此可通过对这部分车采取代用燃料技术来减少污染排放。

## 3. 清洁汽车

为了减少和控制汽车的污染排放，国内外开发了不少有效的净化措施，这些净化措施主要包括：

(1)机内净化：机内净化控制技术是汽车排放控制技术的主要方法之一。该措施是从有害排放物的生成机理出发，对空燃混合气的燃烧方式和过程进行改

进，控制其有害物的产生。例如，电子控制燃油喷射、电子点火等措施，是机内净化的有效方法；采用汽油机直接喷射实现分层燃烧，不但可以减少排气污染，而且能提高燃油经济性；通过改变燃烧室的形状、减少燃烧室的面容比、提高燃烧室的壁面温度、改变化油器的结构和调整，也能起到减少发动机排气中有害成分的作用。但是，机内控制排放具有一定的局限性，只能起到部分降低排放污染物的效果，且作用有限(有时因彼此的制约，在降低某些排放物的同时会使其他排放物增加)，甚至在降低排放污染物时会影响发动机的其他性能。

(2)机外净化：机外净化方法主要有后燃法和催化转换法两种。

后燃法即让高温废气在排气管中进一步燃烧，从而达到降低排放污染物的目的。后燃法主要有加热反应器、二次空气喷射等方法。热反应器及空气注入系统是向排气管内喷射空气，利用排放气体的高温使 HC、CO 及醛类在富氧的条件下继续燃烧，从而降低 HC 和 CO 的排放量。根据发动机的不同工况，空气注入系统由电子控制装置(ECM)适时地供给或切断注入的空气，以满足排气净化的要求。

催化转换是在催化剂的作用下，使排放气体中的HC、CO、NO<sub>x</sub>通过化学反应(燃烧)，然后以CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>O、N<sub>2</sub>的形式进入大气。虽然目前尚不能完全消除有害气体的排放，但已使有害物质的含量大幅度地降低。催化转化技术是目前应用比较广泛，且技术比较成熟的方法。

此外，还可通过控制燃料的蒸发、开发和利用新型低污染车用发动机来减少机动车的污染物排放。

#### 4. 配套法规和标准

实施更加严格的机动车排气排放标准、加强在用车的监督管理均可以减轻日益增加的汽车对空气质量的影响。

根据我国目前的大气环境质量状况和未来的发展预测，按照我国 2010 年环境质量总体目标要求，已提出了下一阶段不同车型的排放标准建议，预计这套标准将采用电控燃油喷射、三元催化转化器、废气再循环等多项先进的污染控制技术，它不仅有助于降低污染、改善大气环境，而且可以引导和促进我国汽车工业的健康发展。

#### 5. 发展公共交通工具

创造清洁健康的城市环境要求政府利用其规划和协调能力于有关的交通管理之中。按照“公交优先”的策略，提供以公共汽车维护的公共交通系统，不仅可降低尾气排放，还将使未来油料的消耗大幅度降低。有人测算，按目前价格，中国到 2020 年时，“公交优先”策略格只需要 300 亿美元的汽油和柴油消耗，而在以私人机动车为基础的策略下，汽油和柴油总消耗格达到 870 亿美元。因此，大力发展公共汽车可以避免汽车对油料过大的需求，并有效控制机动车尾气排放而产生的城市大气污染。

#### 6. 控制私人汽车拥有量

为了保护城市环境，私人汽车的拥有量必须控制在适度的水平。世界上许多国家或城市采取控制汽车价格，通过征收高额汽车购买和财产税，限制私人汽车拥有量。

此外，按照“污染者付费”的原则，汽车使用者应当支付汽车排污的社会成本。为了保护城市环境，汽车排污收费应当与燃油价格挂钩。即燃料油价格不仅包括基于燃料本身的总机会成本、油料运输以外消费税，还应包括基础设施附加费和排污费。按国际标准，目前中国汽油和柴油的零售价格较低，不同标号汽油价格之间的细小差异不能反映它们生产成本的差别。柴油价格低于汽油也抑制了炼油厂生产柴油的积极性。

### 六、工业污染控制

有关的环境保护法律是工业污染控制的基础。

中国的污染控制政策建立在预防为主、防治结合、污染者付费和强化环境管理这三项基本原则的基础上，具体落实为八项环境管理制度。

污染防治重点在于新污染源，可通过实行环境影响评价和“三同时”制度进行管理。现有污染源则通过排污收费、排污许可证和限期治理制度来进行管理。

此外，控制工业污染要积极促进老企业技术改造，推行清洁生产；推广燃煤锅炉的更新换代，提高锅炉效率；促进乡镇企业更新改造和技术换代，提高乡镇企业污染治理率；积极推广已有的污染控制实用技术措施，提高防尘装置的安置率和除尘效率；推广应用各类烟气净化工艺等。

## 第三节 固体废物污染防治与综合利用

对固体废物污染的控制，关键在于解决好废物的处理、处置和综合利用问题。首先，需要从污染源头起始，改进或采用更新清洁生产工艺，尽量少排或不排废物。这是控制工业固体废物污染的根本措施。其次，需要强化对有害废物污染的控制，实行从产生到最终无害化处置全过程的严格管理。第三，需要提高全民对固体废物污染环境的认识，做好科学研究和宣传教育。

## 一、固体废物减量化对策与措施

### (一)城市固体废物

控制城市固体废物产生量增长的对策和具体措施如下：

#### 1. 逐步改变燃料结构

我国城市垃圾中，大约有 40%—50%左右是煤灰。如果改变居民的燃料结构，较大幅度提高民用燃气的使用比例，则可大幅度降低垃圾中的煤灰含量，减少生活垃圾总量。

#### 2. 净菜进城、减少垃圾产生量

目前我国的蔬菜基本未进行简单处理即进入居民家中，其中有大量泥沙及不能食用的附着物。据估计，蔬菜中丢弃的垃圾平均占蔬菜重量的 40%左右，且体积庞大。如果在一级批发市场和产地对蔬菜进行简单处理，净菜进城，即可大大减少城市垃圾中的有机废物量，并有利于利用蔬菜下脚料沤成有机肥料。

#### 3. 避免过度包装和减少一次性商品的使用

城市垃圾中一次性商品废物和包装废物日益增多，既增加了垃圾产生量，又造成资源浪费。为了减少包装废物产生量，促进其回收利用，世界上许多国家颁布包装法规或者条例。强调包装废物的产生者有义务回收包装废物，而包装废物的生产者、进口者和销售者必须“对产品的整个生命周期负责”，承担包装废物的分类回收、再生利用和无害化处理处置的义务\*负担其中发生的费用。促使包装制品的生产者和进口者以及销售者在产品的设计、制造环节少用材料，减少废物产生量，少使用塑料包装物，多使用易于回收利用和无害化处理处置的材料。

#### 4. 加强产品的生态设计

产品的生态设计(又称产品的绿色设计)是清洁生产的主要途径之一。即在产

品设计中纳入环境准则，并置于优先考虑的地位。环境控制包括降低物料消耗，降低能耗，减少健康安全风险，产品可被生物可降解。为满足上述环境准则，可通过如下方法实现：

(1)采用“小而精”的设计思：采用轻质材料，去除多余功能。这样的产品不仅可以减少资源消耗，而且可以减少产品报废后的垃圾量。

(2)提倡“简而美”的设计原则：减少所用原材料的种类，采用单这样产品废弃后作为垃圾分类时简便易行。

## 5. 推行垃圾分类收集

同产生源的垃圾不作任何处理或管理的简单收集方式。无论从生态环境和资源利用的角度看，还是从技术经济角度看，混合收集都是不可取的。按垃圾的组分进行垃圾分类收集，不仅有利于废品回收与资源利用，还可大幅度减少垃圾处理量。分类收集过程中通常可把垃圾分为易腐物、可回收物、不可回收物几大类。其中可回收物又可按纸、塑料、玻璃、金属等几类分别回收。日本从 20 世纪 70 年代中期开始，就已将垃圾分为可燃、不可燃和大件三大类，成功地进行了分类收集和处理，现在则有很多城市将垃圾分为七类进行收集。美国、德国、加拿大、意大利、丹麦、芬兰、瑞士、法国、法国、挪威等国都大规模地开展了垃圾分类收集活动，取得了明显的成效。例如，荷兰实行垃圾分类收集后，使清运的垃圾量减少了 35%。

## 6. 搞好产品的回收、利用的再循环

报废的产品包括大批量的日常消费品，以及耐用消费品如小汽车、电视机、冰箱、洗衣机、空调、地毯等。随着计算机技术的飞速发展，电脑更新换代的速度异常之快，废弃的计算机设备的数目惊人，美国已经有 7000 万台旧电脑被束之高阁。据估计，世界各地扔掉的废旧软盘累加在一起，每隔 21s 就可以形成一座 110 层的“摩天大厦”。对这些废品进行再利用是减少城市固体废物产生量的重要途径。

### (二)工业固体废物

我国工业规模大、工艺落后，因而固体废物产生量过大。提高我国工业生产水平和管理水平，全面推行无皮、少废工艺和清洁生产，减少废物产生且是固体废物污染控制的有效途径之一。这包括：

### 1. 淘汰落后生产工艺

1996年8月，国务院发布的《国务院关于环境保护若干问题的决定》(国发[1996]31号)申明确规定取缔、关闭或停产15种污染严重的企业(简称15小)。这对保护环境，削减固体废物的排放，特别是削减有毒有害废物的产生意义重大。在这“15小”中，均不同程度地产生大量有害废物，对环境造成很大危害。根据推算，1996年全国有官废物产生量 $2600 \times 10^4$ t，如果全部取缔、关停15小，全国每年可以减少有害废物产生量约 $75.4 \times 10^4$ t。

### 2. 推广清洁生产工艺

推广和实施清洁生产工艺对削减有害废物的产生量有重要意义。利用清洁“绿色”的生产方式代替污染严重的生产方式和工艺，既可节约资源，又可少排或不排废物，减轻环境污染。

例如，传统的苯胺生产工艺是采用铁粉还原法，其生产过程产生大量合硝基苯、苯胺的铁泥和废水，造成环境污染和巨大的资源浪费。南京化工厂开发的流化床气相加氢、制苯胺工艺，便不再产生铁泥废渣，固体废物产生量由原来每吨产品2500kg减少到每吨产品5kg，还大大降低了能耗。

工业生产中的原料品位低、质量差，也是造成工业固体废物大量产生的主要原因。只有在采用选矿工艺，才能减少废物排量和所含污染物质成分。例如，一些选矿技术落后，缺乏烧结能力的中小型炼铁厂，渣铁比相当高。如果在选矿过程中提高矿石品位，便可少加造渣熔剂和焦炭，并大大降低高炉渣的产生量。一些工业先进国家采用精料炼铁，高炉渣产生量可减少一半以上。

### 3. 发展物质循环利用工艺

在企业生产过程中，发展物质循环利用工艺，使第一种产品的废物成为第二种产品的原料，并以第二种产品的废物再生产第三种产品，如此循环和回收利用，最后只剩下少量废物进入环境，以取得经济的、环境的和社会的综合效益。

## 二、固体废物资源化与综合利用

### (一)固体废物的资源化途径

固体废物资源化途径包括以下3种途径：

### 1. 物质回收

例如，从废弃物中回收纸张、玻璃、金属等物质。

### 2. 物质转换

即利用废弃物制取新形态的物质。例如，利用废玻璃和废橡胶生产铺路材料，利用炉渣生产水泥和其他建筑材料，利用有机垃圾生产堆肥等。

### 3. 能量转换

即从废物处理过程中回收能量，包括热能或电能。例如，通过有机废物的焚烧处理回收热量，进一步发电；利用垃圾厌氧消化产生沼气，作为能源向居民和企业供热或发电。

## (二) 废物资源化技术

### 1. 物理处理技术

物理处理是通过浓缩或相变化改变固体废物的结构，使之成为便于运箱、贮存、利用或处置的形态。物理处理方法包括压实、破碎、分选、增稠、吸附、萃取等。物理处理也往往作为回收固体废物中有价物质的重要手段。

(1) 破碎：破碎的目的是把固体废物破碎成小块或粉状小颗粒，以利于分选有用或有害的物质。固体废物的破碎方式有机械破碎和物理破碎两种。机械破碎是借助于各种破碎机械对固体废物进行破碎。物理法破碎有低温冷冻破碎和超声波破碎。低温冷冻破碎的原理是利用一些固体废物在低温(-60—120℃)条件下脆化的性质而达到破碎的目的，可用于废塑料及其制品、废橡胶及其制品、废电线(塑料或橡胶被覆)等的破碎。

(2) 筛分：筛分是利用筛子将粒度范围较宽的混合物料按粒度大小分成若干不同级别的过程。

(3) 粉磨：粉磨在固体废物处理和利用中占有重要的地位。粉磨一般有 3 个目的：①对物料进行最后一段粉碎，使其中各种成分分离，为下一步分选创造条件；②对各种废物原料进行粉磨，并把它们混合均匀；③制造废物粉末，增加物料比表面积，为缩短物料化学反应时间创造条件。

(4) 压缩：对固体废物压缩处理的目的是减少其容积，便于装卸和运输；二是制取高密度惰性块料，便于贮存、填埋或作为建筑材料。

(5) 分选：常用的固体废物分选方法有①重力分选(简称重选)；②浮选；③磁

力分选(简称磁选); ④电场分选; ⑤拣选; ⑥摩擦和弹道分选。

## 2. 化学处理技术

采用化学方法使固体废物发生化学转换从而回收物质和能源, 是固体废物资源化处理的有效技术。燃烧、焙烧、烧结、溶剂浸出、热分解、焚烧等都属于化学处理技术。

(1)煅烧: 煅烧是在适宜的高温条件下, 脱除物质中二氧化碳和结合水的过程。燃烧过程中发生脱水、分解和化合等物理化学变化。例如, 碳酸钙渣经煅烧再生石灰。

(2)焙烧: 焙烧是在适宜条件下将物料加热到一定的温度(低于其熔点), 使其发生物理化学变化的过程, 根据焙烧过程中的主要化学反应和焙烧后的物理状态, 可分为烧结焙烧、磁化焙烧、氧化焙烧、中温氯化焙烧、高温氯化焙烧等\*

(3)烧结: 烧结是将粉末或粒状物质加热到低于主成分熔点的某一温度, 使颗粒粘结成块或球团, 提高致密度和机械强度的过程。为了更好的烧结, 一般需在物料中配入一定量的熔剂。例如, 石灰石、纯碱等。

(4)溶剂浸出法: 使固体物料中的一种或几种有用金属溶解于液体溶剂中, 以便从溶液中提取有用金属。这种化学过程称为溶剂浸出法。按浸出剂的不同, 浸出方法可分为水浸、酸浸、碱浸、盐浸和氰化浸等。溶剂浸出法在固体废物回收利用有用元素中应用很广泛, 如用盐酸浸出固体废物中的铅、铜、镍、锰等金属; 从煤矸石中浸出结晶三氯化铝、二氧化钛等。

(5)热分解(或热裂解): 热分解是利用热能切断大分子量的有机物, 使之转变为含碳量更少的低分子量物质助工艺过程。应用热分解处理有机固体废物是热分解技术的新领域。通过热分解可在一定温度条件下, 从有机废物中直接回收燃料油、气等。适于采用热分解的有机废物有皮塑料(含氯者除外)、废橡胶、皮轮胎、废油及油泥、废有机污泥等。

(6)焚烧: 有关内容见后。

## 3. 生物处理技术

生物处理法可分为好氧生物处理法和厌氧生物处理法。好氧处理法是在水中有充分溶解氧存在的情况下, 利用好氧微生物的活动, 将固体废物中的有机物分解为二氧化碳、水、氨和硝酸盐。厌氧生物处理法是在缺氧的情况下, 利用厌氧



微生物的活动，将固体废物中的有机物分解为甲烷、二氧化碳、硫化氢、氨和水。生物处理法具有效率高、运行费用低等优点，固体废物处理及资源化中常用的生物处理技术有：

(1)沼气发酵：沼气发酵是有机物质在隔绝空气和保持一定的水分、温度、酸和碱度等条件下，利用微生物分解有机物的过程。经过微生物的分解作用可产生沼气。沼气是一种混合气体，主要成分是甲烷(CH<sub>4</sub>)和二氧化碳(CO<sub>2</sub>)。其中甲烷占 60%—70%，二氧化碳占 30%—40%，还有少量氢、一氧化碳、硫化氢、氧和氟等气体。城市有机垃圾、污水处理厂的污泥、农村的人畜粪便、作物秸秆等皆可作产生沼气的原料。为了使沼气发酵持续进行，必须提供和保持沼气发酵中各种微生物所需的条件。沼气发酵一般在隔绝氧的密闭沼气池内进行。

(2)堆肥：堆肥是将人畜粪便、垃圾、青草、农作物的秸秆等堆积起来，利用微生物的作用，将堆料中的有机物分解，产生高热，以达到杀灭寄生虫卵和病原菌的目的。堆肥分为普通堰肥和高温堆肥，前者主要是厌氧分解过程，后者则主要是好氧分解过程。堆肥的全程一般约需一个月。为了加速堆肥和确保处理效果，必须控制以下几个因素：①堆内必须有足够的微生物，②必须有足够的有机质，使微生物得以繁殖；③保持堆内适当的水分和酸、碱度；④适当通风，供给氧气；⑤用草泥封盖堆肥，以保温和防蝇。

(3)细菌冶金：细菌冶金是利用某些微生物的生物催化作用，使矿石或固体废物中的金属溶解出来，从溶液中提取所需要的金属。它与普通的“采矿—选矿—火法冶炼”比较，具有如下几个特点：①设备简单，操作方便；②特别适宜处理废矿、尾矿和炉渣；③可综合回收，分别回收多种金属。

### (三)资源化技术在固体废物处理中的应用

#### 1. 城市垃圾

图 5—7 是城市垃圾资源化总体示意图，它包括收集运输系统、资源化系统和最终处置系统三大部分。

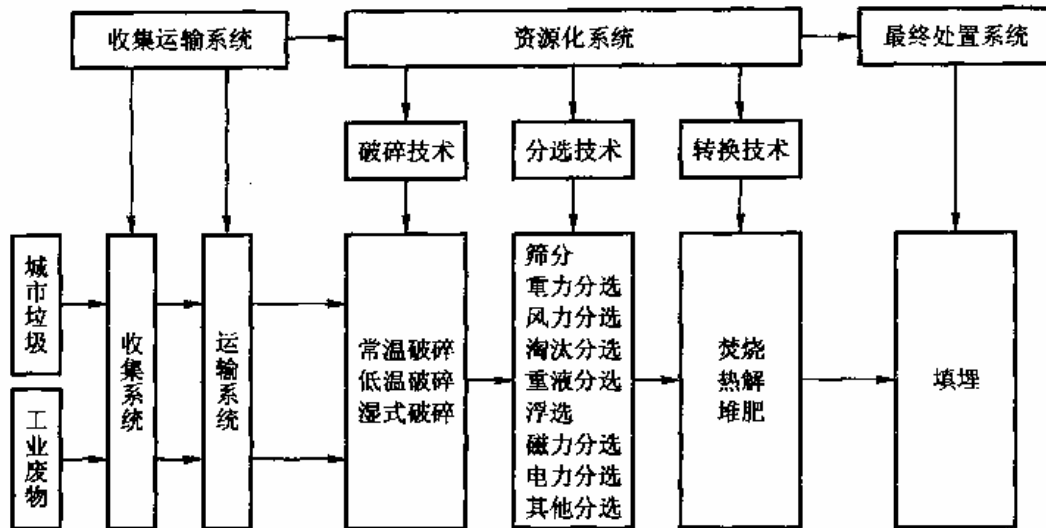


图 5—7 城市垃圾资源化总体示意图

城市垃圾资源化系统可分为两个过程。前一个过程是不改变物质的化学性质，直接利用和回收资源。通过破碎、分选等物理的和机械的作业，回收原形废物直接利用或从原形废料中分选出有用的单体物质。后一个过程则是通过化学的、生物的、生物化学的方法回收物质和能量。只有根据城市垃圾数量、组成成分和废物的物理化学特性，正确的选择各种处理单元操作技术，才能组成经济而有效的资源化系统。

## 2. 工业固体废物资源化

工业固体废物资源化的途径很多，归纳起来有下述 5 个方面：

(1)提取各种金属：把最有价值的各种金属提取出来，是固体废物资源化的重要途径。在重金属冶炼渣中，往往可提取金、银、钴、镉、硒、钯、铂等，有的含量甚至可达到或超过工业矿床的品位，从这些矿渣回收的稀有贵金属的价值甚至超过主金属的价值。在综合利用这些固体废物时，应首先提取这些稀有贵金属和其他有价值金属，然后再进行一般利用。

(2)生产建筑材料：利用工业固体废物生产建筑材料，一般不会产生二次污染问题，是消除污染、使大量工业固体废物资源化的主要方法之一。

(3)生产农肥：利用固体废物生产或代替农肥有着广阔的前景。许多工业固体废物含有较高的硅、钙以及各种微量元素，有些固体废物还含有磷，可作为农业肥料使用。例如，粉煤灰、高炉渣、钢渣和铁合金渣等可作为硅钙肥直接施用于农田。不但可提供农作物所需要的营养元素，而且有改良土壤的作用；而钢渣

中含磷较高时可作为生产钙镁磷肥的原料。但是，在使用工业固体废物作为农肥时，必须严格检验这些固体废物是否有毒。应严格禁止将有毒固体废物用于农业生产上。

(4)回收能源：很多工业固体废物热值高，可以回收利用。常用方法有焚烧法、热解法等热处理法以及甲烷发酵法和水解法等低温方法。例如，粉煤灰中含炭量达 10%以上(甚至 30%以上)，可以回收后加以利用，煤矸石发热量为 0.8—8MJ/kg，可利用煤矸石发展坑口电站。

(5)取代某种工业原料；工业固体废物经一定加工处理可取代某种工业原料，以节省资源。例如，以煤矸石代替焦炭生产磷肥，不仅能降低磷肥的生产成本，还可提高磷肥的质量；电石渣或合金冶炼中的硅钙溶，含有大量的氧化钙成分，可以代替石灰，直接用于工业和民用建筑中或作为硅酸盐建筑制品的原料赤泥和粉煤灰经加工后可作为塑料制品的填充剂。

### 三、固体废物的无害化处理处置

#### (一)焚烧处理

焚烧法是一种高温热处理技术，即以一定的过剩空气量与被处理的废物在焚烧炉内进行氧化燃烧反应，废物中的有害毒物在高温下氧化、热解而被破坏。这种处理方式可使废物完全氧化成无毒害物质。焚烧技术是一种可同时实现废物无害化、减量化、资源化的处理技术。

##### 1. 可焚烧处理废物类型

焚烧法可处理城市垃圾、一般工业废物和有害废物，但当处理可燃有机物组分很少的废物时，需补加大量的燃料。

一般来说，发热量小于 3300kJ/kg 的垃圾属低发热量垃圾，不适宜焚烧处理；发热量介于 3300—5000kJ/kg 的垃圾为中发热量垃圾，适宜焚烧处理；发热量大于 5000kJ/kg 的垃圾属高发热量垃圾，适宜焚烧处理并回收其热能。

##### 2. 废物焚烧炉

固体废物焚烧炉种类繁多。通常根据所处理废物对环境和人体健康的危害大小，以及所要求的处理程度，将焚烧炉分为城市垃圾焚烧炉、一般工业废物焚烧

炉和有害废物焚烧炉 3 种类型。但从其机械结构和燃烧方式上, 固体废物焚烧炉主要有炉排型焚烧炉、炉床型焚烧炉和沸腾流化床焚烧炉 3 种类型。

### 3. 焚烧处理技术指标

废物在焚烧过程中会产生一系列新污染物, 有可能造成二次污染。设施排放的大气污染物控制项目大致包括 4 个方面:

(1)有害气体; 包括SO<sub>2</sub>、HCl、HF、CO和NO<sub>x</sub>;

(2)烟尘: 常将原颗粒物、黑度、总碳量作为控制指标;

(3)重金属元素单质或其化合物: 如 Hg、Cd、Pb、Ni、Cr、As 等;

(4)有机污染物; 如二恶英, 包括多氯代二苯并一对一二恶英(PCDDs)和多氯代二苯并呋喃(PCDFs)。

以美国法律为例, 有害废物焚烧的法定处理效果标准为: ①废物中所含的主要有机有害成分的去除率为 99.99%以上。②排气中粉尘含量不得超过 180mg / m<sup>3</sup>(以标准状态下, 干燥排气为基准, 同时排气流量必须调整至 50%过剩空气百分比条件下)。③氯化氢去除率达 99%或排放量低于 1.8kg/h, 以两者中数值较高者为基准。④多氯联苯的去除率为 99.9999%, 同时燃烧效率超过 99.9%。

## (二)固体废物的处置技术

固体废物经过减量化和资源化处理, 剩下来的、无再利用价值的残渣, 往往聚集了大量不同种类的污染物质, 对生态环境和人体健康具有即时和长期的影响, 必须妥善加以处置。安全、可靠地处置这些固体废物残渣, 是固体废物全过程管理中的最重要环节。

历史上用于处置固体废物方法主要有陆地处置和海洋处置两大类。海洋处置包括深海报弃和海上焚烧。陆地处置包括土地耕作、永久贮存或贮留地贮存、土地填埋、深井灌注和深地层处置等几种, 其中应用最多的是土地填埋处置技术。海洋处置现已被国际公约禁止, 陆地处置至今仍是世界各国常用的一种废物处置方法。

### 1. 固体废物处置原则

虽然与废水和废气相比, 固体废物中的污染物质具有一定的惰性, 但是在长期的陆地处置过程中, 由于本身固有的特性和外界条件的变化, 必然会因在固体

废物中发生的一系列相互关联的物理、化学和生物反应，导致对环境的污染。

固体废物的最终安全处置原则大体上可归纳为：

(1)区别对待、分类处置、严格管制有害废物：固体物质种类繁多，其危害环境的方式、处置要求及所要求的安全处置年限均各有不同。因此，应根据不同废物的危害程度与特性，区别对待、分类管理，对具有特别严重危害的有害废物采取更为严格的特殊控制。这样，既能有效地控制主要污染危害，又能降低处置费用。

(2)最大限度地将有废物与生物因相隔离：固体废物，特别是有废物和放射性废物最终处置的基本原则是合理地、最大限度地使其与自然和人类环境隔离，减少有毒有害物质进入环境的速率和总量，格其在长期处置过程中对环境的影响减至最小程度。

(3)集中处置：对有害废物实行集中处置，不仅可以节约人力、物力、财力，利于监督管理，也是有效控制乃至消除有害废物污染危害的重要形式和主要的技术手段。

## 2. 固体废物陆地处置的基本方法

废物的陆地处置方法可分为土地矫作、永久贮存(贮留地贮存)和土地填埋 3 种类型，其中应用最多的是土地境埋处置技术。

土地填埋处置是从传统的堆放和境地处置发展起来的一项最终处置技术，不是单纯的堆、境 i 埋，而是一种按照工程理论和土工标准，对固体废物进行有控管理的一种综合性科学工程方法。在填埋操作处置方式上，它已从堆、填、覆盖向包容、屏蔽隔离的工程贮存方向上发展。土地填埋处置，首先需要进行科学的选址，在设计规划的基础上对场地进行防护(如防渗)处理，然后按严格的操作程序进行填埋操作和封场，要制订全面的管理制度，定期对场地进行维护和监酊。土地填埋处置具有工艺简单、成本较低、适于处置多种类型固体废物的优点。目前、土地填埋处置已成为固体废物最终处置的一种主要方法。土地境埋处置的主要问题是渗滤液的收集控制问题。

(1)土地填埋处置的分类：土地境埋处置的种类很多，采用的名称也不尽相同。按填埋场地形特征可分为山间填埋、峡谷填埋、平地续埋、废矿坑填埋；按填埋场地水文气象条件可分为干式填埋、湿式填埋和干、湿式混合填埋；按填埋

场的状态可分为厌氧性填埋、好氧性填埋、推好氧性填埋和保管型场埋；按固体废物污染防治法规，可分为一般团体废物填埋和工业固体废物填埋。在日本，工业固体废物填埋又分为遮断型、管理型和安定型 3 种。

(2) 填埋场的基本构造：填埋场构造与地形地貌、水文地质条件、演埋废物类别有关。按填埋废物类别和填埋场污染防治设计原理，演埋场构造有衰减型填埋场和封闭型境埋场之分。通常，用于处置城市垃圾的卫生填埋场后衰减型境埋场或半封闭型演埋场，而处置有害废物的安全演埋场届全封闭型填埋场。

① 自然衰减型填埋场。自然衰减型土地境埋场的基本设计思路，是允许部分渗滤液由境埋场基部渗透，利用下伏包气带土层和含水层的自净功能来降低渗滤液中污染物的浓度，使其达到能接受的水平。图 5—8 展示了一个理想的自然衰减型土地填埋场的地质横截面：填埋底部的包气带为粘土层，粘土层之下是含砂潜水层，而在含砂水层下为基岩。包气带土层和潜水层应较厚。

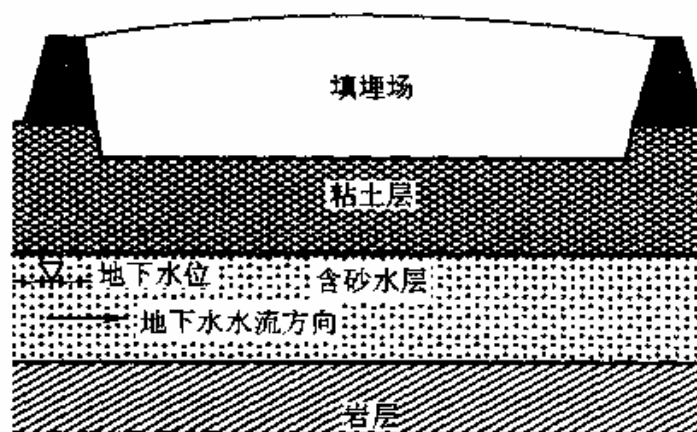


图 5—8 理想的自然衰减型填埋场土层分层结构

② 全封闭型境埋场。全封闭型境埋场的设计是特废物和渗滤液与环境隔绝开，将废物安全保存相当一段时间(数十年甚至上百年)。这类填埋场通常利用地层结构的低渗透性或工程密封系统来减少渗滤液产生量和通过底部的渗透泄露渗入蓄水层的渗滤液量，将对地下水的污染减少到最低限度，并对所收集的渗滤液进行妥善处理处置，认真执行封场及善后管理，从而达到使处置的废物与环境隔绝的目的。图 5—9 为全封闭型填埋场剖面图。

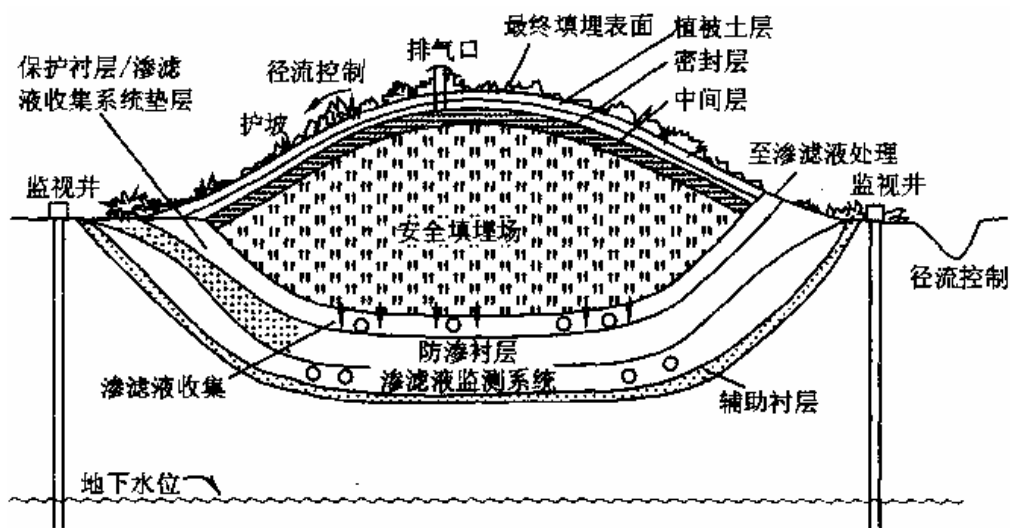


图 5—9 全封闭型安全填埋场剖面图

③半封闭型填埋场。这种类型的填埋场实际上介于自然衰减型填埋场和全封闭型填埋场之间。半封闭型填埋场的顶部密封系统一般要求不高，而底部一般设置单密封系统，并在密封衬层上设置渗滤液收集系统。大气降水仍会部分进入填埋场，而渗滤液也可能会部分泄露进入下包气带和地下含水层，特别是只采用粘土衬层时更是如此。但是，由于大部分渗滤液可被收集排出，通过填埋场底部渗入下包气带和地下含水层的海滤液量显著减少，下包气带的屏障作用可使污染物的衰减作用更为有效。

填埋场封闭后的管理工作十分必要，主要包括以下几项：

①维护最终覆盖层的完整性和有效性，进行必要的维修，以消除沉降和凹陷以及其他因素的影响。

②维护和监测检漏系统。

③继续运行渗滤液收集和去除系统

④维护和检阅地下水监测系统。

⑤维护任何测量基准。

填埋场的善后将延续到封场以后若干年。这是一个随机性的时间期限，可以根据填埋场封闭后的污染物迁移技术资料作适当的延长或减短。妥善封闭的填埋场能用于一般的使用目的，例如，用作停车场或开放场地等。