

第 1 章 绪 论

1.1 环境问题的沿革与现状

1.1.1 环境

环境是人类生存和发展的基础，是极其复杂的辩证综合体。环境可分为社会环境和自然环境。社会环境是指人类生活的社会制度和上层建筑的环境条件，也就是人类在物质资料生产过程中，为共同进行生产而组织起来的生产关系的总和。所谓自然环境是人类赖以生存和发展的物质条件，是人类周围各种自然因素的总和，即客观物质世界。目前，人类活动的范围限于生物圈，即包括地壳表面和围绕它的大气层的对流层，而我们所研究的环境主要指自然环境的生物圈部分。关于环境的定义，《中华人民共和国环境保护法》明确指出：“本法所称环境是指大气、水、土壤、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。”它们与人类生存密切相关因此必须加以保护。

1.1.2 环境问题的演变过程

环境问题随人类生活和生产的发展而出现，并逐渐加剧。人类毁坏自己赖以生存的自然环境的历史与人类文明史本身一样古老。古代文明的发达地区，如今多被列为世界上比较贫困或贫困地区，其根源在于其祖先滥用和浪费了其后代赖以生存的自然资源。环境污染问题大体与人类文明发展的四阶段（表 1.1）相一致。

表 1.1 人类发展的阶段和特征

人类发展阶段	采猎文明	农业文明	工业文明	后工业文明
特征分类	公元前 200 万年 - 公元前 1 万年	公元前 1 万年 - 公元 1700 年	公元 1700 年 - 现在	现在 - 将来
社会结构	个体/部落	乡村/民族	城市/国家	宇宙/全球
活动范围	孤 立	区 域	洲际/大区	全 球
经济形式	个体延续	· 自给型	商品型	持续型
能源特征	火、人力	畜 力	化石燃料	信 息
人地关系	依附自然	靠天吃饭	改天换地	人地和谐

第一阶段,采猎文明时期。在有人类的初期,生产水平低下,人类生活完全依靠自然环境 聚居在气候适宜、水资源丰富的地方 过着采集野果、猎取禽兽的生活。这阶段人类主要是依赖和利用自然环境,而无意识地去改造环境。

第二阶段 农业文明时期。在土地肥沃、雨水充足的地方 如埃及的尼罗河流域 中国的黄河流域 人类能稳定定居生活 种植作物 饲养牲畜 繁衍后代 于是出现了农业文明 其特征是人类能利用自身力量去影响和改变局部自然环境。而人类一旦对自然环境施加影响,便必然产生一定的环境问题 如砍伐森林 开垦草原 引起水土流失 造成土地沙漠化。由于定居 便使村落出现 于是便产生粪便、垃圾和生活污水等的污染环境。但整体看来 这阶段人类对自然的作用还远未达到在全球范围内造成环境污染的问题。

第三阶段 工业文明时期。工业革命的出现 机器延伸了人的“器官” 化石能源取代了畜力,社会化大生产取代了手工业,人类足迹遍布全球。

这个阶段的特点是随着生产力的快速、空前发展,环境资源被大量开发利用,在此过程中产生了大量的废水、废气、废渣 危害之大前所未有的。为改善自己的生活 无限制地向大自然索取,却未意识到潜在的巨大危害,未意识到人类与环境之间存在着一个协同发展的规律。直到威胁人类存在和发展的环境问题在全球范围内出现,才使人们惊醒,这已经是 20 世纪中叶以后的事情。世界有名的八大公害教育了人们,迫使人们设法解决环境污染问题。

第四阶段,后工业文明时期。人们无限制地向大自然索取资源造成的环境污染危害,使人们认识到工农业生产的发展,需要考虑环境的生态规律,即国民经济发展与环境保护要协调进行。人类与大自然最终和谐统一的后工业时期是我们的期望,并且最终也一定能实现。例如 为向大自然索取建筑木材而大量砍伐森林 同时 大量的植树造林 使之最终取走的林木量与植树造林而生长的生物量相等,达到了生态的平衡,使国民经济发展,但并不破坏生态。目前我们正处在后工业文明时期。

1.1.3 环境污染的现状

工业革命尤其是第二次世界大战以后,工农业生产高速发展,带来的环境污染非常严重 归纳起来有下述几方面。

1.1.3.1 大气污染

大气污染主要是由燃烧煤、石油、天然气所致 近年来汽车工业的高速发展 城市大气污染中汽车尾气成分占了很大比重。具体的污染物为:颗粒物、二氧化硫、氮氧化物和碳氢化物等。由于这些污染物存在 引起一系列大气污染问题 其中主要内容如下。

(1) 酸雨。大气中由于 CO_2 的存在 降雨一般呈微酸性 其 $\text{pH} \approx 6.0$ 而当降雨的 $\text{pH} < 5.6$ 时,即为酸雨。酸雨是由于大气污染的一个结果,由于燃料中含有大量的硫化物,在燃烧时形成 SO_2 在空气中氧化成 SO_3 在水中即形成硫酸 而构成酸雨的主要成分。另外 在燃烧过程中产生的氮氧化物在大气中形成的硝酸也是酸雨的重要组分。我国许多地区,尤

其是西南地区 由于燃煤含硫高 酸雨很严重。

(2)臭氧层破坏。臭氧层是指大气平流层中臭氧集中的一个层次,由于人类大量使用氟氯烃而释放出的活性氯原子与臭氧反应造成臭氧的减少而破坏了臭氧层,每年九、十月份南极上空有时会出现 $1 \sim 2 \text{ km}^2$ 的臭氧空洞,其他地区上空有时也出现。

(3)温室效应。由于燃料燃烧向大气中排放的 CO_2 的增加,使地面反射出的红外线被 CO_2 吸收 使近地面温度升高 形成如玻璃暖棚样的效应 称为温室效应。大气中的 CO_2 浓度 每年均以 0.2% 的速度增加,使全球温度发生变异。

(4)汽车尾气污染。近年来随着交通事业的飞速发展,汽车尾气对城市的污染日益严重,其污染贡献率有的高达 $40\% \sim 60\%$ 汽车尾气主要含有 CO 、 NO_x 、碳氢等氧化还原物质,对人体危害很大。

近年来 各种恶臭等工业废气的污染也越来越严重 对人类的健康乃至生命都构成严重威胁。

1.1.3.2 水污染

水资源是发展国民经济的重要物质基础 水是人类的生命、生产、生活的必需物质。

一方面,人类对水的用量在迅速增加,另一方面,水资源在遭受人为的严重污染。据资料介绍,废弃的污水能使超过其体积 $8 \sim 10$ 倍的干净水遭受污染 在 20 世纪 70 年代 工业发达国家水污染已很严重,美国 52 条大河 其总长的 $1/3$ 遭受严重污染 原苏联有 $60\% \sim 70\%$ 未经处理的工业废水和 50% 的生活污水排放到各水域,其总量每天约 $1 \times 10^8 \text{ m}^3$ 日本几乎没有一条干净的河流 在 46 个都、道、府、县中 水域污染面积占 35% 。

我国工业和公用事业用水目前估计为 $11.67 \times 10^{10} \text{ m}^3/\text{a}$ 它排入江河 每年可使 $93.36 \times 10^{10} \text{ m}^3$ 的干净水遭受污染,这个数字占全国河川径流量的 35.5% ,仅长江上游每年就接纳数十亿吨的生活污水和工业废水。重庆环境监测站对 19 条长江的支流进行水质监测 属重度污染和严重污染的占 49% 。全国许多城市的地下水受到不同程度的污染。目前,水体污染主要是有机污染物、重金属和有机有毒污染物等污染,其中许多有机污染物本身并无毒性 但进入水体后 使微生物大量繁殖而消耗溶解氧 使水中溶解氧含量大大降低 水生动植物死亡 水体变臭 严重破坏水资源 恶化环境。重金属进入水体 通过迁移转化、富集 而由食物链进入人体,对人体健康产生危害。有机有毒污染物为多环芳烃等,对人体可致癌、致畸和致突变。

我国是缺水国家 且分布极不均匀 保护水环境和治理水污染是 21 世纪的重大课题。

1.1.3.3 噪声污染

噪声是另一种重要环境污染。研究表明,噪声在 45 dB 时会影响人的睡眠, 65 dB 时对工作和学习有影响,噪声达到 165 dB 时 动物就会死亡 达到 175 dB 时 人就会丧命。噪声会引起一系列心理和生理反应,造成多种疾病。如噪声使呼吸频率增快,从而引起神经系统的反作用 使吸入氧量减少 噪声使心脏活动受到影响 引起冠心病、大脑血管阻塞、动脉硬化等 噪声也影响神经系统 使大脑神经错乱 甚至引起神经病 噪声可使胃酸分泌过多 使

消化道弹性受到影响,会引起胃溃疡。但最直接受到噪声损害的是听觉系统,近年来耳聋症上升为难以治愈的第四号疾病。

国外把噪声作为三大公害之一。城市噪声直接危害居民,它主要来源于交通噪声,即车辆行驶摩擦、震动和喇叭声等。我国城市交通噪声普遍高于国外。

1.1.3.4 土地污染及固体废物危害

固体废物随国民经济发展,其量越来越大,其质越来越复杂。固体废物主要包括城市垃圾及工矿企业的废渣,如炼钢废渣和电厂等的粉煤灰,以及煤矿开采的煤矸石。这些物质的随意堆放不仅占地而且造成二次污染,污染了水、空气乃至土壤。

土壤资源是人类赖以生存的物质基础。土地资源的利用涉及的环境问题甚多。如人口增长与扩大耕地面积、植被破坏与水土流失、草原退化与土地沙漠化、盐碱化以及土壤污染等。

在人类生产和生活过程中不断产生“三废”直接或间接地通过大气、水体和生物向土壤中排放,当排入的“三废”数量超过土壤系统的自净能力,破坏了原来的平衡时,就发生了土壤污染。

农业中的肥料、农药、用污水灌溉,污水厂的污泥在农田中施肥,城市垃圾和工业废渣的堆置等,都是土壤污染的重要途径。目前最重要的土壤污染物是重金属和难降解的有机毒物(如有机氯农药、病原微生物、致病菌、病毒和寄生虫卵)。

我国一些地区曾用未经消毒的医院废水灌溉农田,使蔬菜中含有大量致病菌和病毒,从而导致痢疾、伤寒和肝炎等传染病在这个地区爆发。

此外,大气中一些污染物随大气沉降和降水进入土壤,造成污染。如 SO_2 、 NO_x 沉降于土壤使土壤酸化,放射性和重金属尘埃沉降于土壤中使土壤和作物污染。

可见,由于人类社会的发展,资源的不合理开发利用,造成严重的环境污染。如我国在 20 世纪的最后几年有三件震撼国人的大事: 1997 年创纪录(全年 226 天)的黄河断流; 1998 年的长江大水灾; ③2000 年波及北京等地的频繁沙尘暴。这三件事标志着中国环境史上的一个新时期的来临,它标志着长期环境污染和生态破坏所积累的后果终于以一种危机降临全国。大规模的污染反弹报复提示人们:环境与经济是一个整体,保护和治理环境已成为中国环境的首要任务,环境保护是我国的基本国策,必须落到实处。

1.2 环境污染治理工程

1.2.1 环境工程的形成

后工业文明时期的特点就在于国民经济的发展与环境保护协调一致,这就要求环境污染一方面靠自净得以部分消除,更主要的是要靠工程治理恢复原来的生态。环境污染治理工程,即环境工程,就是在环境污染不断加剧、控制污染日益迫切的形势下发展起来的。20

世纪以来 尤其第二次世界大战以后 随着工农业、交通运输业和城市建设的迅速发展 排入环境的废水、废气、废渣越来越多 对环境造成日益广泛和严重的污染 在一些地区出现了公害病, 严重威胁人体健康乃至生命安全, 从而促进了运用工程措施治理环境污染, 开始以单项治理技术逐渐发展到区域性的综合污染防治。可以说环境工程是环境科学的一个分支, 它的任务就是通过工程技术措施, 控制环境污染, 改善环境质量, 保护和合理利用自然资源, 保持良好的生态平衡, 以保障人类的生存。《环境工程师手册》(Environmental Engineers' Handbook Volume I)对“环境工程”的目的做了明确的描述:“环境工程作为一门新兴学科 已处于一个受重视与受挑战的地位, 它们的工具是人类的全部科学知识, 而它们最重要的目标是使人类与大自然和平共处。”我国于 1978 年全国科学大会在制定科学技术长远发展规划纲要时 把环境工程正式纳入技术科学领域 距今仅 20 余年的历史。因此, 所谓环境工程就是环境污染防治工程, 亦即对污染物监测、控制和处理的工程。

1.2.2 环境工程的内容

环境工程从广义来说, 就是综合运用环境科学的基础理论和有关的工程技术, 控制和改善环境质量。环境污染包括了水污染、空气污染、固体废物污染、噪声污染、电磁辐射污染、放射性污染和热污染等, 而与之相适应的工程也应包括这些方面的治理工程。

1.2.2.1 水污染控制工程

近年来由于环境污染的日益严重, 许多地面水体和地下水都不同程度受到污染, 因此, 给水处理和废水处理之间, 在许多情况下已无太大差别, 处理机理和设备及构筑物有许多相似之处, 所以可把它们统称为水污染控制工程, 只是在工艺流程中的各单元操作选择上有所不同。水污染控制工程所使用的处理手段主要是池、槽、罐、塔等 所使用的材料主要为钢材和混凝土等。无论是饮用水、工业用水 还是生活污水、工业废水 处理方法有多种 概括起来分为物理处理法、化学和物理化学处理法、生物处理法。现举两个处理流程的例子。以江、河、湖泊、水库为水源的居民饮用水常用处理流程如图 1.1 所示。

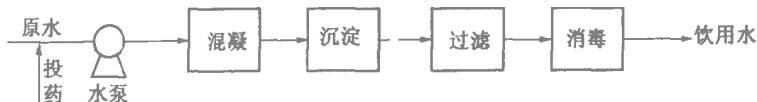


图 1.1 地面水源的饮用水处理流程

生活污水主要为城市居民生活中的排水, 常用的处理流程如图 1.2 所示。

1.2.2.2 空气污染控制工程

环境污染较早引起人们重视的是空气污染, 1930 年的比利时马斯河谷烟雾事件, 1952 年的英国伦敦烟雾事件等都是由燃煤放出的烟尘和 SO_2 引起的。空气污染主要是颗粒物,

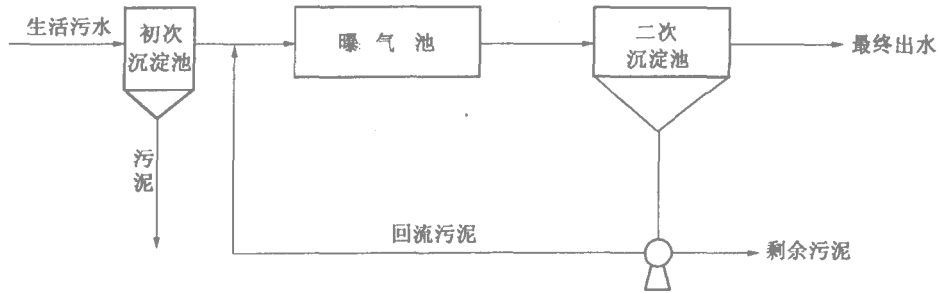


图 1.2 城市生活污水一般处理流程

其次为 SO_2 和 NO_x 等。因此，对空气污染处理工程主要分为除尘（颗粒物）和气态污染物的净化。

(1) 除尘设备

分离或捕集气流中粉尘粒子的装置为除尘装置，它包括工业除尘器和空气过滤器。工业除尘器是净化工业生产气体设备的总称。单纯进行固体和气体分离的装置有下述几种。

依靠重力分离气固流体的重力沉降室。

依靠惯性力分离气固流体的惯性除尘器。

依靠离心力分离气固流体的旋风除尘器。

依靠尘粒与液滴、液膜的惯性碰撞和扩散而使气固流体分离的湿式除尘器，其中除尘效率高、应用较普遍的湿式除尘器为文丘里除尘器如图 1.3 所示。

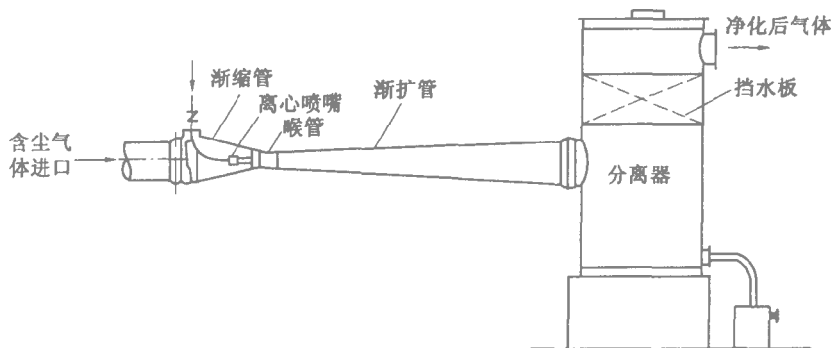


图 1.3 文丘里除尘器

依靠滤料与气流通过时所含尘粒的截留、惯性碰撞、扩散和静电作用，使其气固分离的过滤除尘器，包括袋式除尘器和以金刚砂等为过滤介质的过滤式除尘器。

⑥ 依靠电场力实现粉尘与气流分离的高效静电除尘器。

(2) 气体污染物的净化设备

降低或控制气态污染物所造成污染的基本方法和装置有：

利用液体吸收剂将污染物吸收质从气体中吸收下来而达到空气污染净化的目的，所用的装置为吸收装置。当前应用较多的为石灰/石灰石法烟气脱硫系统，如图 1.4 所示。

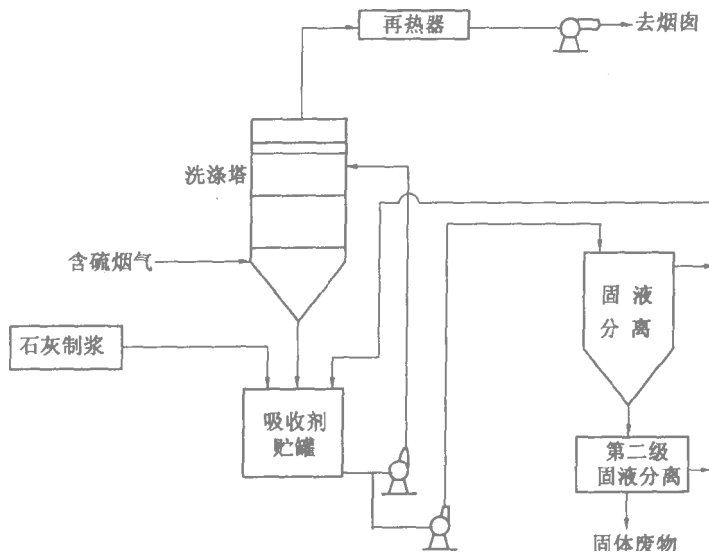


图 1.4 石灰/石灰石烟气脱硫流程图

②利用吸附剂（如活性炭）将气体中污染物（吸附质）吸附下来的装置为吸附器。吸附装置是吸附填料的容器，用以盛装活性炭、活性氧化铝、分子筛和硅胶等吸附剂。

利用催化剂的催化作用将废气中的有害物质转化成无害物质，称为催化转化法净化气态污染物，所用的装置为单层或多层绝热反应器。

利用微生物的代谢活动将污染物（主要是有机污染物）转化为 CO_2 和水等简单无机物和细胞质的过程，称为生物净化气态污染物，所用的设备主要有生物洗涤塔等装置。

(3) 固体废物处理和处置工程

固体废物处理主要有下述四种方法，并需采取相应的工程措施。

对含有多种可生物降解物质的固体废物，尤其是城市垃圾，经过适当的预处理，如分选等，可采取好氧或厌氧堆肥处理，也可采用露天堆肥和工厂化机械堆肥，如图 1.5 所示。

②利用固体中大量的可燃成分进行焚烧处理，不仅可取得大量热能，同时灰渣稳定，还可为最终处置创造条件。焚烧炉有多种形式，根据条件进行选建。

在缺氧条件下，将可燃固体废物在高温下燃烧、分解、缩合转化为气态、液态和固态物

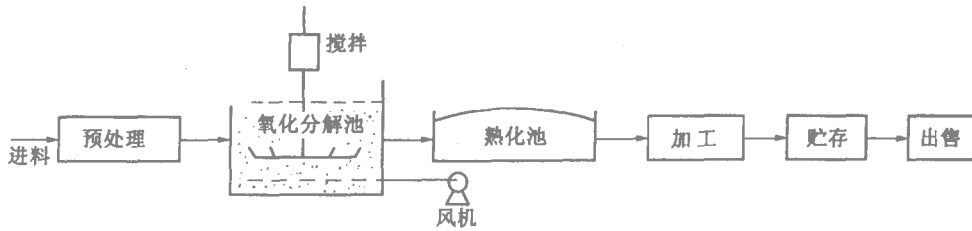


图 1.5 工厂化机械堆肥工艺流程

质的过程称为固体废物热解。我国在这方面正在进行研究利用，因为这种方法既可产生可利用的气体、液体，也可产生稳定易处理的固体。热解所使用的装置为热解炉。

固体废物的陆地填埋处置可分为卫生填埋和安全填埋，而安全填埋是固体废物最终处置中最经济的方法，已成为大多数国家处理固体废物的一种主要方法。安全填埋场结构如图 1.6 所示，这种填埋技术要注意防渗处理，注意设置垃圾渗滤液及产气的收集系统等。

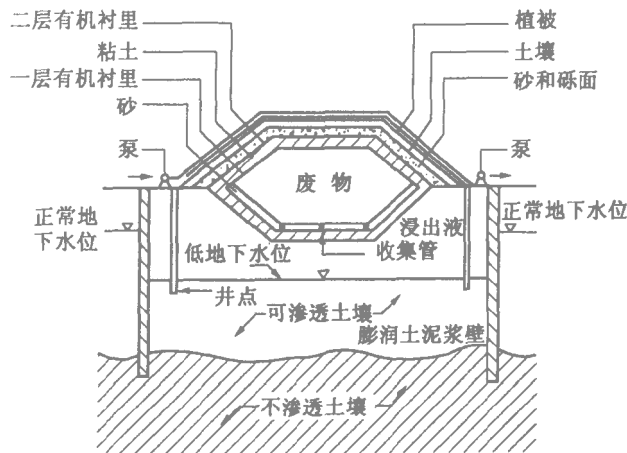


图 1.6 安全填埋场结构示意图

此外，环境工程尚有控制噪声污染的隔声墙、隔声屏及隔声间等处理工程。

1.3 环境工程土建与环境工程

环境工程实际上是遵照有关环境污染物控制标准，根据某污染物的处理原理而进行设计的单元操作及相应的工艺流程，使该污染物通过该工艺流程处理后达到排放标准。

环境工程土建则是根据环境工程设计的单元操作及相应工艺流程中对土建工程的要求

求，而进行的具体土建设计、施工。可以说，环境工程是为保证某污染物处理达标而进行的工艺设计，而环境工程土建是保证环境工程工艺设计具体实施的手段，即处理构筑物（如池、塔、槽、炉等）的结构设计及施工，以保证环境工程所设计的要处理的污染物完成达标排放要求。所以，环境工程和环境工程土建既是一个统一的整体，又有明确的分工，环境工程的最终完成离不开环境工程土建，反之，环境工程土建又是在环境工程前期工艺设计基础上而进行的土建设计和具体施工。

因此，环境工程和环境工程土建是相辅相成的关系。严格说来，环境工程土建是环境工程的后续，或者说是一部分。

1.4 环境工程土建概论的任务和内容

1.4.1 环境工程土建概论的任务

环境工程土建是用土建工程原理和工程措施，实现环境工程建设的土建任务，为环境治理达标提供构筑物和装置保证。因此，环境工程土建随环境工程的出现而诞生，随环境工程的发展而发展，是一门与环境整治密不可分的新兴学科。而环境工程土建概论则是用简略的篇幅，深入浅出地介绍和讲述环境工程土建的全貌。

1.4.2 环境工程土建的发展过程

环境工程土建是在土建工程的基础上发展起来的。土建工程具有着悠久的发展史，可以说，有了人类便有了土建工程，也可以说，土建工程的结果是人类文明史的展示。秦始皇为了抵御北方匈奴的入侵，进行了声势浩大的土木工程，修筑了伟大的万里长城；隋炀帝为了享乐，开凿了南北大运河；战国时期的秦蜀守李冰为了农业的发展，率民修筑了著名的四川都江堰。但过去讲述的土建工程，基本是与房屋建筑相关的土建工程。自人类居住稳定以来，便有房屋建筑，远至古代的西安半坡村遗址，以及以后历代皇帝建筑的城墙、宫殿，都是劳动人民用血汗换来的土建工程的结晶，并积累了丰富的土建经验，具有高超的技艺。工业革命以后，西方随着科技的高速发展，与之相应的建筑业也得到高速发展，街道整齐、高楼林立的现代化建筑组成的现代化都市到处可见。相形之下，我国解放前的建筑业是落后的，建筑设计水平不高，施工技术长期停滞在手工业状态，建筑材料一直沿袭两千年前的秦砖汉瓦一类的老产品。解放后，政府提出“向建筑工业化过渡”，并把建筑工业化的内容概括为“三化”——设计标准化、构件生产工厂化和施工机械化。不断大力发展建筑材料，利用工业废料和地方资源，研究开发新兴材料，为我国建筑工业化创造了有利条件。

粉碎“四人帮”后，尤其近年来建筑业获得高速发展，各种新兴建筑材料不断涌现，用新的施工工艺进行着越来越文明的施工，设计不断创新，新建高楼大厦、工厂、住宅随处可见，

到处一片兴旺的景象。“适用、安全、经济、美观”的党的建筑方针得到了很好的贯彻执行。现在可以说，世界建筑业的热点在中国。

1.4.3 环境工程土建的内容

环境工程土建是随环境污染治理工程的产生而出现的，是用土建工程的设计、施工、材料、措施、方法去完成环境工程的任务，环境工程土建的范围包括环境工程中处理污染的工艺过程所需的土建工程，也包括工业厂房及其辅助用房的土建工程等。

因此，本书主要包括下述内容：

(1) 环境工程土建的演变过程。概述环境污染及其治理状况及环境工程土建的产生、发展。

(2) 环境工程土建所需的基本理论知识。概述土建工程常用的拉、压、弯、剪等的力学知识，材料、构筑物等本身及与周围环境介质经常发生的化学反应及其变化，如酸、碱等中和反应，酸、碱、盐的置换反应，氧化还原反应，以及反应后产生的建（构）筑物的物理变化，如热胀冷缩，材料腐蚀引起的建（构）筑物剥离断裂等现象。还介绍一些与环境工程土建有关的物理知识，如垃圾填埋经一定时间要产生下沉，从而造成隔水层的破坏等。

(3) 环境工程土建所用的基本建筑材料。概述了粘土砖瓦、石灰、石膏、水泥等胶凝材料及混凝土、砂浆、钢材、钢筋混凝土、木材、塑料、沥青、玻璃纤维、玻璃毡等材料，并对建筑材料的基本性能进行了介绍。

(4) 建筑识图。概述了不同建（构）筑物的基本组成和表示方法，介绍了施工图的编制、绘图标准，以及施工图的组成和图纸内容。

(5) 环境工程土建设计。概述了环境工程土建设计的类型，包括工艺流程的池、槽、塔及烟囱等，也包括了工业建筑的厂房及辅助用房，以及民用住宅等，还包括厂区规划及道路、景观等。介绍了环境工程土建设计特点和要求，以及总平面设计对平面设计的影响和平面设计与工艺流程的关系，并简介了泵房、贮水池、管道沟、垃圾填埋场和烟囱等建（构）筑物的设计。

(6) 环境工程土建造造。主要概述地基基础、墙、房屋顶、楼板层及泵房、水塔、烟囱、管道沟和贮水池等构造，它们可以是砖木结构、砖混结构、钢筋混凝土结构，还可以是钢 - 钢筋混凝土结构和钢结构等。

(7) 基本建设程序。初步设计和施工图设计、施工过程和质量保证要求。

上述内容基本涵盖了环境工程土建概论的全部。

第 2 章 环境土建工程基础理论知识

环境土建工程主要包括房屋建筑结构、各种水池、水塔构筑物以及沟、渠、坝、挡土结构物等土工构筑物工程。这些结构和构筑物由各种构件组成。为了保证这些结构与构筑物的正常工作和具有足够的耐久性，构件材料需具有一定的力学和物理、化学性能。

2.1 建筑力学基础知识

2.1.1 结构与构件

建筑物中承受荷载而起骨架作用的部分称为结构。图 2.1 中所示的即为单层厂房结构。结构受荷载作用时，如不考虑建筑材料的变形，其几何形状和位置不发生改变。

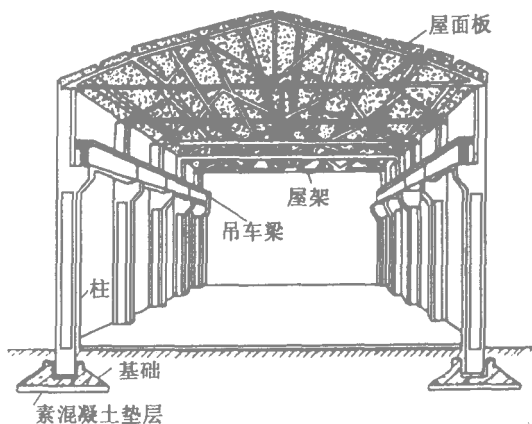


图 2.1 单层厂房结构示意图

组成结构的各单独部分称为构件。图 2.1 中的基础、柱、吊车梁、屋架、屋面板等均为构件。结构一般可按其几何特征分为三种类型。

(1) 杆系结构 组成杆系结构的构件是杆件。杆件的几何特征是其长度远远大于横截面的宽度和高度。

(2)薄壁结构 组成薄壁结构的构件是薄板或薄壳。薄板、薄壳的几何特征是其厚度远远小于它的另两个方向的尺寸。

(3)实体结构 它是三个方向的尺寸，基本为同量级的结构。
建筑力学以杆系结构作为研究对象。

2.1.2 刚体、变形固体及其基本假设

结构和构件可统称为物体。在建筑力学中将物体抽象化为两种计算模型 刚体模型 理想变形固体模型。

刚体是受力作用而不变形的物体。实际上，任何物体受力作用都发生或大或小的变形，但在一些力学问题中，物体变形这一因素与所研究的问题无关，或对所研究的问题影响甚微 这时 我们就可以不考虑物体的变形 将物体视为刚体 从而使所研究的问题得到简化。

在另一些力学问题中 物体变形这一因素是不可忽略的主要因素 如不予考虑就得不到问题的正确解答。但在平时，我们将物体视为理想变形固体。所谓理想变形固体，是将一般变形固体的材料加以理想化，作出以下假设。

(1)连续性假设 认为物体的材料结构是密实的，物体内材料是无空隙的连续分布。

(2)均匀性假设 认为材料的力学性质是均匀的 从物体上任取或大或小的一部分 材料的力学性质均相同。

(3)各向同性假设 认为材料的力学性质是各向同性的，材料沿不同的方向具有相同的力学性质。有些材料沿不同方向的力学性质是不同的，称为各向异性材料。本书中仅研究各向同性材料。

按照连续、均匀、各向同性假设而理想化了的一般变形固体称为理想变形固体。采用理想变形固体模型不但使理论分析和计算得到简化 而且所得结果的精度也能满足工程的要求。

无论是刚体还是理想变形固体，都是针对所研究的问题的性质，略去一些次要因素，保留对问题起决定性作用的主要因素，而抽象化形成的理想物体，它们在生活和生产实践中并不存在，但在解决力学问题时，它们是必不可少的理想化的力学模型。

变形固体受荷载作用时将产生变形。当荷载值不超过一定范围时，荷载撤去后，变形随之消失，物体恢复原有形状。撤去荷载可消失的变形称为弹性变形。当荷载值超过一定范围时，荷载撤去后，一部分变形随之消失，另一部分变形仍残留下来，物体不能恢复原有形状。撤去荷载仍残留的变形称为塑性变形。在多数工程问题中，要求构件只发生弹性变形。也有些工程问题允许构件发生塑性变形。本书中只研究弹性变形范围内的问题。

2.1.3 杆件变形的基本形式

杆系结构中的杆件其轴线多为直线，也有轴线为曲线和折线的杆件。它们分别称为直杆、曲杆和折杆 如图 2.2(a)、(b)、(c) 所示。

横截面相同的杆件称为等截面杆(图 2.2) 横截面不同的杆件称为变截面杆(图 2.3 (a)、(b))。

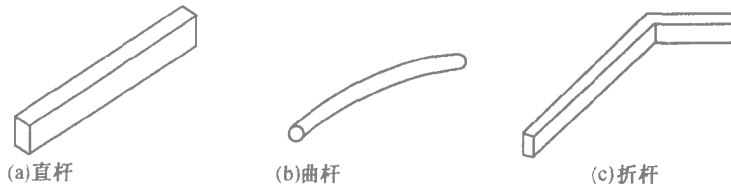


图 2.2 等截面杆示意图



图 2.3 变截面杆示意图

杆件受外力作用将产生变形。变形形式是复杂多样的，它与外力施加的方式有关。无论何种形式的变形，都可归结为四种基本变形形式之一，或者是基本变形形式的组合。直杆的这四种基本变形形式是：

(1) 轴向拉伸或压缩 一对方向相反的外力沿轴线作用于杆件，杆件的变形主要表现为长度发生伸长或缩短的改变。这种变形形式称为轴向拉伸或轴向压缩(图 2.4(a))。

(2) 剪切 一对相距很近的方向相反的平行力沿横向(垂直于轴线)作用于杆件，杆件的变形主要表现为横截面沿力作用方向发生错动。这种变形形式称为剪切(图 2.4(b))。

(3) 扭转 一对方向相反的力偶作用于杆件的两个横截面，杆件的相邻横截面绕轴线发生相对转动。这种变形形式称为扭转(图 2.4(c))。

(4) 弯曲 一对方向相反的力偶作用于杆件的纵向平面(通过杆件轴线的平面)内，杆件的轴线由直线变为曲线。这种变形形式称为弯曲(图 2.4(d))。

各种基本变形形式都是在特定的受力状态下发生的，杆件正常工作时的实际受力状态往往不同于上述特定的受力状态，所以，杆件的变形多为各种基本变形形式的组合。当某一种基本变形形式起主要作用时，可按这种基本变形形式计算，否则，则属于组合变形的问题。

2.1.4 结构计算简图

2.1.4.1 自由度、约束及约束反力

物体可这样分为两类：一类是自由体，自由体可以自由位移，不受任何其他物体的限制；另一类是非自由体，非自由体不能自由位移，其某些位移受其他物体的限制而不能发生。物

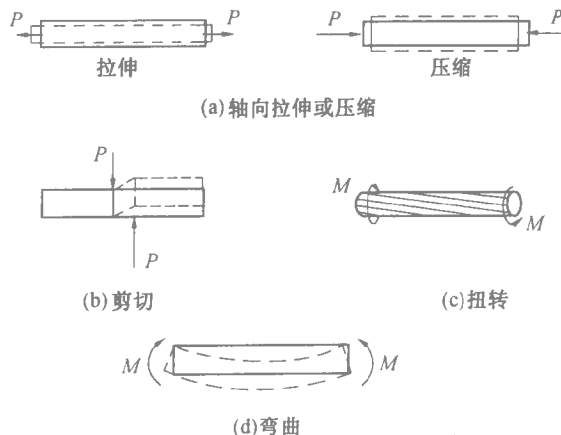


图 2.4 直杆变形的形式

体在某方向上能够发生位移，则在该方向上具有一个自由度。结构和结构的各构件是非自由体。限制非自由体位移的其他物体称做非自由体的约束。约束的功能是限制非自由体的某些位移，使其在位移方向上没有自由度。例如，桌子放在地面上，地面具有限制桌子向下位移的功能，桌子是非自由体，地面是桌子的约束。约束对非自由体的作用力称为约束反力。显然，约束反力的方向总是与它所限制的位移方向相反。地面限制桌子向下位移，地面作用给桌子的约束反力指向上方。

工程中物体之间的约束形式是复杂多样的，为了便于理论分析和计算，只考虑其主要的约束功能，忽略其次要的约束功能，便可得到一些理想化的约束形式。本节中所讨论的正是这些理想化的约束，它们在力学分析和结构设计中被广泛采用。

(1) 光滑面约束

光滑面约束是由两个物体光滑接触所构成。两物体可以脱离开，也可以沿光滑面相对滑动，但沿接触面法线且指向接触面的位移受到限制。这是光滑面约束的约束功能。光滑面的约束反力作用于接触点，沿接触面的法线且指向物体。

图 2.5(a)、(b)中给出光滑面约束及其约束反力的例子。圆盘 O 为非自由体，各光滑接触面的约束反力均沿接触面法线 指向圆盘中心 O 。

(2) 光滑圆柱铰链约束

铰链约束是连接两个构件的常见的约束形式。铰链约束可以这样构成：在两个物体上各做一大小

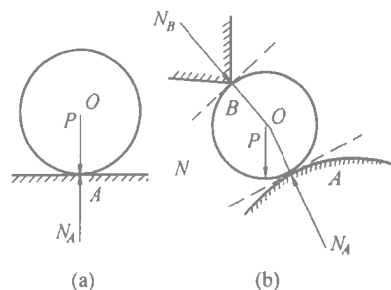


图 2.5 光滑面约束及其约束反力示意图

相同的光滑圆孔，用光滑圆柱销钉插入两物体的圆孔中，如图 2.6(a) 所示。以后，这种约束用简化图 2.6(b) 表示。根据构造情况可知其约束功能是：两物体铰接处允许有相对转动（角位移）发生，不允许有相对移动（线位移）发生。相对线位移可分解为两个相互垂直的分量与之对应，铰链约束有两个相互垂直的约束反力，它们的指向是未知的，可假定一个物体所受约束反力的指向，另一物体所受的约束反力指向按作用反作用定律确定，如图 2.6(c) 所示。

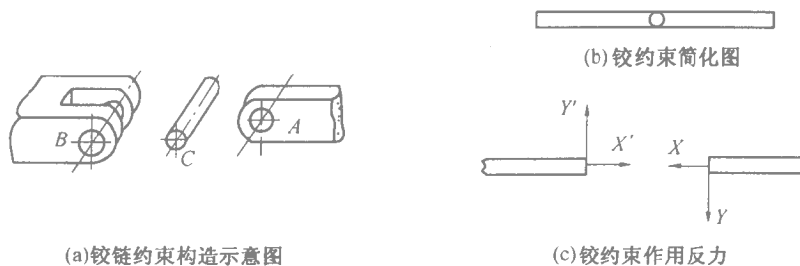


图 2.6 光滑圆柱铰链约束示意图

(3) 铰支座

铰支座有固定铰支座和滚动铰支座两种。

将构件用铰链约束与地面相连接，这样的约束称为固定铰支座，其构造如图 2.7(a) 所示。将构件用铰链约束连接在支座上，支座用滚轴支持在光滑面上，这样的约束称为滚动铰支座，其构造如图 2.7(b) 所示。这两种支座的简化图形分别如图 2.7(c)、(d) 所示。

固定铰支座的约束功能与铰链约束相同，所以，其约束反力也用两个垂直分力表示。滚动铰支座的约束功能与光滑面约束相同，所以，其约束反力也是沿光滑面法线方向且指向构件。

图 2.7(e) 中的简支梁 AB 就是用这两种支座固定在地面上，支座的约束反力示于该图中，其中约束反力 X_A 和 Y_A 的指向是假定的。

(4) 链杆约束

链杆是两端用光滑铰链与其他物体连接，不计自重且中间不受力作用的杆件。链杆只在两铰链处受力作用，因此又称二力杆。

处于平衡状态时，链杆所受的两个力，应是大小相等、方向相反地作用在两个铰链中心的连线上，其指向一般不能确定。按作用以及反作用定律，链杆对它所约束的物体的约束反力必定沿着两铰链中心的连线作用在物体上。

图 2.8(a) 中，当不计构件自重时，构件 BC 即为二力杆。它的一端用铰链 C 与构件 AD 连接，另一端用固定铰支座 B 与地面连接。 BC 杆件所受的两个力 N_C 和 N_B 如图 2.8(c) 中

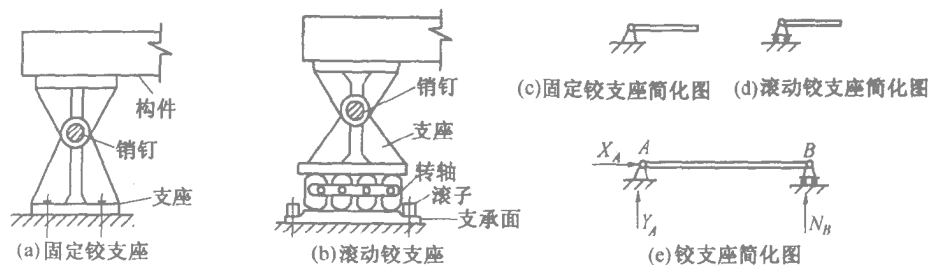


图 2.7 铰支座示意图

所示。杆件 BC 作用给杆件 AD 的约束反力 N'_C 是 N_C 的反作用力 如图 2.8(b) 所示。 N_B 、 N_C 、 N'_C 三个力中 只需假定一个力的指向 另外两个力的指向可由二力平衡条件和作用与反作用定律确定。

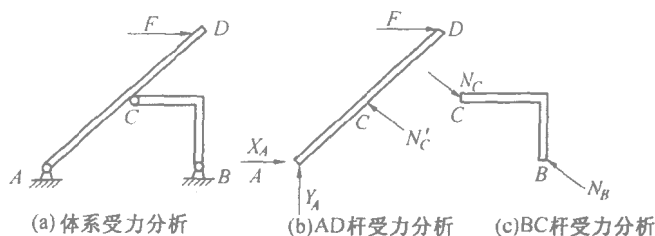


图 2.8 链杆约束示意图

应该注意，一般情况下铰链约束的约束反力是用两个垂直分力来表示，但对连接二力杆的铰链来说，铰链约束的约束反力作用线是确定的，不用两个垂直分力表示。在上述的例子中 如将 AD 上 C 点的反力用两个垂直分力表示 就会给计算工作带来麻烦。因此 对给定的结构和给定的荷载，应会识别结构中 有无二力杆件，哪个构件是二力杆件。

也可以用链杆作支座。图 2.9 中的简支梁 AB ，其 B 端即为链杆支座。该支座约束反力 N_B 的作用线沿链杆，图中该反力的指向是假定的。

(5) 固定端约束 (固定支座)

图 2.10(a) 中 杆件 AB 的 A 端被牢固地固定 使杆件既不能发生移动也不能发生转动。这种约束称为固定端约束或固定支座。固定端约束的简化图形如图 2.10(b) 所示。固定端的约束反力是两个垂直的分力 X_A 、 Y_A 和一个力偶 m_A 它们在图 2.10(b) 中的指向是假定的。约束反力 X_A 、 Y_A 对应于约束限制移动的位移；约束反力偶 m_A 对应于约束限制转动的位移。



图 2.9 链杆支座 简支梁 示意图

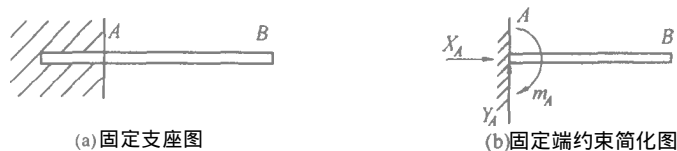


图 2.10 固定端约束示意图

(6) 定向支座

将构件用两根相邻的等长、平行链杆与地面相连接 如图 2.11(a) 所示。这种支座允许杆端沿与链杆垂直的方向移动，限制了沿链杆方向的移动，也限制了转动。定向支座的约束反力是一个沿链杆方向的力 N 和一个力偶 m 。图 2.11(b) 中反力 N_A 和反力偶 m_A 的指向都是假定的。

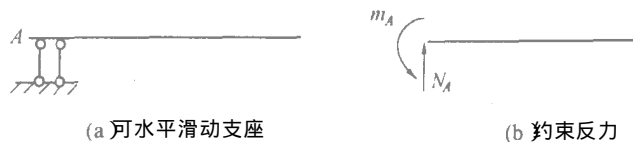


图 2.11 定向支座示意图

2.1.4.2 结构计算简图

实际结构是很复杂的，无法按照结构的真实情况进行力学计算。因此，进行力学分析时，必须选用一个能反映结构主要工作特性的简化模型来代替真实结构，这样的简化模型称做结构计算简图。结构计算简图略去了真实结构的许多次要因素，是真实结构的简化，便于分析和计算；结构计算简图保留了真实结构的主要特点，是真实结构的代表，能够给出满足精度要求的分析结果。

选择结构计算简图是重要而困难的工作。对常见的工程结构，已有经过实践检验了的成熟的计算简图。下面主要介绍结构计算简图中支座的简化、结点的简化等问题。

(1) 支座简化示例

前面介绍的固定铰支座、滚动支座、固定支座等都是理想的支座，这些理想的支座在土建工程中几乎是见不到的。为便于计算，要分析实际结构支座的主要约束功能与哪种理想支座的约束功能相符合，将工程结构的真实支座简化为力学中的理想支座。

图 2.12 中所示的预制钢筋混凝土柱置于杯形基础中，基础下面是比较坚实的地基土壤。如杯口四周用细石混凝土填实 图 2.12(a)，柱端被相当坚实的基础固定，其约束功能基本上与固定支座相符合，则可简化为固定支座。如杯口四周填入沥青麻丝（图 2.12(b)），柱端可发生微小转动，但其约束功能基本上与固定铰支座相符合，则可简化为固定铰支座。