

第一篇

水污染控制

第一章 水质与水污染

水是自然界中最普遍存在的一种物质，是生命赖以存在的物质基础，是人类环境的一个重要组成部分。

第一节 水的循环及性质

一、地球上水的分布

水在自然界中总量是很多的，总水量约为 $1.35 \times 10^9 \text{ km}^3$ ，但这其中海水 $1.32 \times 10^9 \text{ km}^3$ 占 97.8%，淡水 $0.3 \times 10^8 \text{ km}^3$ ，仅占 2.2%，而且淡水中又有大部分存在于两极的冰山、冰河和深度在 750m 以下的地下水中，目前还极少被利用。真正人类进行生活和生产活动的用水只是河流、湖泊和少部分地下水，储量约为 $4 \times 10^6 \text{ km}^3$ ，仅占地球总水量的 0.3%，且时空分布不均匀。在世界范围内水已成为一种紧缺的资源，根据《1992 年世界发展报告》的资料统计，全世界有 22 个国家严重缺水。在一些地区，清洁水已成为商品。例如，德国从瑞士买水、美国从加拿大买水、科威特则依靠海水淡化。

我国的水资源总量排名世界第六，但人均占有量仅为世界人均量的 1/4，从这个角度上讲，我国的水资源并不丰富。另外，我国的水资源时空分布十分不均衡。在空间分布上，总体来讲是东南多而西北少，南方流域和珠江流域水量丰富，而北方则少雨干旱。在时间分布上，由于我国大部分地区受季风气候的影响，降水量在汛期 4 个月较集中，南方占全年降水量的一半，北方及西南则占到 70%~80%。这就导致了年内分配不均，年际变化很大，总体来讲是冬春少雨、夏季多雨，有时还会出现连续的枯水年份和丰水年份，给水资源的合理利用增加了困难。近年来，水资源还受到环境污染的威胁，据 2000 年中国环境状况公报，中国七大重点流域地表水有机污染普遍，各流域干流有 57.7% 的断面为 IV 类水质，6.9% 的断面属 V 类水质，13.8% 的断面属劣 V 类水质。主要湖泊富营养化

问题突出。

总之，为了发展生产、搞好建设、改善人民生活水平，节约淡水、减少污染、保护淡水资源，已成为一项迫在眉睫的问题。

二、水的循环

水的循环分为自然循环和社会循环。

(一) 自然循环

地球上的水在太阳能的作用下，通过海洋、湖泊、河流等广大水面以及土壤表面、植物茎叶的蒸发和蒸腾形成水汽，上升到空中凝结为云，在大气环流——风的推动下到达地球各处。在适当条件下以雨、雪、雹等形式降落到地面上。这部分降水中一部分在地面上汇集成江河湖泊，即地面径流；另一部分渗入地下，成为地下水，即地下渗流。地面径流和地下渗流有时相互交流转换，最后都注入海洋。与此同时，一部分水又在进行蒸发和蒸腾作用，进入大气圈中。这种循环往复的过程叫做水的自然循环（图 1-1）。

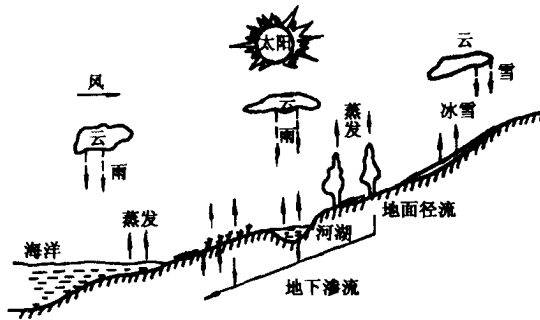


图 1-1 水的自然循环

(二) 社会循环

人类为满足生活和生产的需要，从可利用的天然水体中取用部分水，这部分水经过使用以后成为生活污水和工业废水。它们被排放到自然界中，进入天然水体。这样水在人类社会中也构成了一个局部的循环体系。这种循环叫做水的社会循环。

随着世界人口的增长和工农业的发展，用水量也在日益增加，相应的废水量也在增加。未经妥善处理的废水排入水体会造成严重的污染，使本来已经并不充裕的水资源更加紧张。这就是在水的社会循环中表现出来的人与自然在水量和水质方面存在着的巨大矛盾。人类排入自然水体的生活污水和工业废水是水体最大的污染源，也是目前水体环境保护和水治理工程技术所要解决的主要问题。

以造纸行业为例，从备料到成纸、黑液和红液的回收、纸张的加工都要以大量的新鲜水为介质，用于输送、洗涤、分散物料和冷却设备等。虽然经过中间回收，处理再用，但总排水量仍然很高，与化工工业和钢铁工业一起成为用水和排水大户。

所以，当前紧迫的任务就是研究和解决由此造成的环境污染问题，解决人与自然的矛盾，在合理开发利用水资源的同时，有效地控制水体污染。中国在此方面已进行了大量的工作，例如在 2000 年先后开展了“三河三湖”流域水污染防治，加强在黄河干流用水管理工作，合理调配水资源，使多年出现断流的情况下，在 2000 年全年未出现断流。

三、水的性质

自然界没有纯水。因为水是一种良好的溶剂，又无时不与外界接触，故在自然循环中，水与大气、土壤和岩石表面接触的每一个环节都会有更多的杂质混入和溶入。地面环境不同，水质也不完全相同，但在某一地区水会具有相对稳定组成和物化性质。

另外，水在社会循环中，受到人类生活和生产活动的影响，会接纳有大量的工业、农业和生活废弃物，水质进一步恶化。

天然水中的杂质按照颗粒大小，可分为：

(1) 悬浮物 指直径大于 $1\mu\text{m}$ 的颗粒，它们靠浮力和黏滞力悬浮在水中。

(2) 溶解物 由分子或离子组成，直径小于 $10^{-3}\mu\text{m}$ 。

(3) 胶体 指介于悬浮物和溶解物之间的物质，直径在 $10^{-3} \sim 1\mu\text{m}$ 的物质。仅仅根据水中杂质的颗粒尺寸不能全面反映水的物理学、化学和生物学的性质，为全面反映水的质量，还必须建立水质和水质指标的概念。

根据污染杂质的不同，可分为化学性污染、物理性污染和生物性污染。

第二节 水体与水体污染

一、水体

水体是指河流、湖泊、沼泽、水库、地下水、冰川、海洋等地表被水覆盖地段的自然综合体。这是从地理角度对水体所下的定义，根据这个定义，水体包括有水、悬浮物、底泥和水生生物。环境保护中说水体受到污染是指整个水体而言，不能把污染物的转移称为自净。例如重金属离子在水体中经过沉淀，吸附或者螯合作用转移到底泥中，这个时候就水而言，它的含量很低，没有受到污染，但是就整个水体而言已经受到了严重的污染。

水体可分为海洋水体和陆地水体，其中陆地水体又可分为地表水体和地下水体。还可以按照某一具体的被水覆盖的地段来划分，例如太湖、洞庭湖和鄱阳湖可分为三个不同的水体。

二、水体污染

水体作为一个生态系统，对其中各种物质的变化具有一定的自动调节能力，经过一系列的连锁反应和相互作用，会建立新的平衡。这种在一定程度上能自身

调节和降低污染的能力，叫做水体自净。但是任何生态系统的这种自动调节的能力是有一定限度的，当外来物质进入水体的数量达到了破坏水体原有用途的水平，对人类环境和水的利用产生不良影响，就造成了水体污染。

根据1984年颁布的《中华人民共和国水污染防治法》，所谓水污染，是指因某种物质的介入而导致其化学、物理、生物或者放射性等方面特性的改变，从而影响水的有效利用，危害人体健康或者破坏生态环境，造成水质恶化的现象。

三、中国水体污染概况

中国在水体污染方面是有过惨痛教训的，以淮河为例，在“三河三湖”（三河：淮河、辽河、海河；三湖：太湖、巢湖、滇池）流域水污染防治之前，由于忽视环境保护，在191条支流中，80%的支流水呈黑绿色，超过50%丧失了使用价值。在1994年7月发生了特大污染事故， 2×10^8 t 废水注入干流，形成70km长的污染带，造成苏、皖150万人饮水困难，安徽省蚌埠市自来水必须深加工，成本增加7倍；江苏省盱眙县30万人近2个月无水喝，依靠政府、部队运输供应。3.1万人患肠胃和皮肤病，洪泽湖渔业遭受“灭顶之灾”。

严重的水污染引起党和国家的高度重视。20世纪90年代以来，我国把防治水污染作为关系到经济和社会发展全局的大事来抓。“三河三湖”流域的水污染防治，被放在全国环境重点防治工程“3211”工程的首要位置，国务院提出了在2000年实现工业污染物排放总量控制和工业企业主要污染物达标排放的环保目标。据国家环保总局提供的数据，“九五”期间我国用于环保治理的资金达到国民生产总值（GDP）的0.93%，其中有相当部分用于水污染治理。在人均的GDP不足800美元的情况下，即开始实行流域区域大规模环境污染治理，这在世界上是少见的。

但是，尽管经过了这些年的努力，我国水污染防治效果却依然不尽如人意。“三河”流域水质没有明显好转，污染事故时有发生；“三湖”仍呈富营养化状态，蓝藻不时爆发；在全国各城市，人们见到的河流多数还是呈现出黑色、酱色，散发着难闻的气味。2000年，全国工业和城市生活废水排放总量为 4.15×10^{10} t，其中工业废水排放量为 1.94×10^{10} t，城市生活污水排放量 2.21×10^{10} t。废水中化学需氧量（COD）排放总量 1.445×10^7 t，其中工业废水中COD排放量 7.05×10^6 t，生活污水中COD排放量 740×10^4 t。

四、废水的来源和性质

水体中的污染有两类：一类是自然污染；另一类是人为污染。

自然污染主要是自然原因造成的。例如特殊的地质条件使某些地区有某种化学元素的大量富集，天然植物的腐烂过程中产生某种有害物质，以及降雨淋洗大气和地面后挟带各种物质流入水体等，都会影响当地水质。通常把由于自然原因造成的水中杂质含量称为自然本底值或背景水平。如一般天然水中，氟的本底值为0.15~0.41 mg/L，镉的本底值为0.007~0.013 mg/L等。

人为污染是人类生产和生产活动中产生的废物对水的污染，一般根据来源分为生活污水、工业废水和农业废水

生活污水是指居民日常生活中所产生的废水，包括厨房洗涤、沐浴、衣物洗涤等废水及冲洗厕所的污水等。其中所含有的成分及其变化取决于居民的生活水平和生活习惯。

生活污水浑浊、色度高，且具有恶臭，呈微碱性。对特定地区，水质较稳定，一般不含有毒物质。但由于其中富含各种营养物质，适宜于各种微生物的繁殖，因此常含有大量的细菌，特别应注意的是其中的病原菌，此外还会有病毒和寄生虫卵。

目前，城市一般均建有污水处理厂，将居民所排放污水集中起来，采用物理化学和生物化学等方法加以处理。

工业废水是指工业生产中所排放的废水。工业废水的成分取决于工业类型、生产过程中所采用的原料、化学品及生产工艺、工厂管理水平等，各个行业、工厂排放的污水往往具有行业特点，相差悬殊，成分复杂，有的含有大量有机物质，有的含有有毒有害物质，有的物理性状十分恶劣。正是由于这种成分和性质的复杂性，所以必须采取不同的处理和处置方法。我国采取的是“谁污染，谁负责”的环境管理政策，要求各个工厂要针对该厂的实际情况，做好环境保护工作，确保排放的污水达到国家所制定的排放标准。

五、水体污染的分类和影响

水体污染可根据其中所含污染物的不同而主要分为化学性污染、物理性污染和生物性污染三大类。

(一) 化学性污染

1. 无机污染物质

污染水体的无机污染物质有酸、碱和一些无机盐类。污染主要来自矿山排水和工业废水。矿山排水中的酸主要是含硫矿物经空气氧化与水作用而生成的。含酸多的工业废水有酸洗、粘胶纤维、染料及酸法造纸等。雨水淋洗二氧化硫较多的空气后，流入水体也能引起酸的污染。碱污染主要来自碱法造纸、炼油、制革、制碱等工业废水。酸碱污染使水体的 pH 值发生变化，抑制细菌和其他微生物的生长或杀灭这些细菌和微生物，妨碍水体自净作用，还会腐蚀船舶和水下建筑物，影响渔业，破坏生态平衡。一些工业废水中还常含有不少无机盐类，它们排入水体后将提高水的硬度和增加水的渗透压，降低水中的溶解氧，对淡水生物产生不良影响。

2. 无机有毒物质

污染水体的无机有毒物质主要是重金属等有潜在长期影响的物质，其中汞、镉、铅等危害较大，其他还有砷（特别是三价）、铬（六价）、硒（四价、六价）、钡、钒、氟化物、氰化物等。有毒重金属在自然界中一般不会自行消失，却可能通过食物链而积累、富集，以致会直接作用于人体而引起严重的疾病，或

者促使慢性病的发生

3. 有机有毒物质

污染水体的有机有毒物质种类很多，主要是各种有机农药、多环芳烃、芳香胺等。这些物质来自农田排水或某些工业废水，如焦化、染料、农药、塑料等。它们之中很多是自然界中本来没有而经人工合成的物质，化学性质很稳定，很难被生物所分解。有些有机物还是致癌的。

4. 需氧污染物质

生活污水、牲畜污水和某些工业废水中所含的碳水化合物、蛋白质、脂肪和酚、醇等有机物质可在微生物的作用下进行分解。在分解过程中需要消耗氧气，故称为需氧污染物质。如果这类物质排入水体过多，将会大量消耗水中的溶解氧，造成水中溶解氧缺乏，从而影响水中鱼类和其他水生生物的生长。水中的溶解氧耗尽后，有机物质将进行厌氧分解而产生出大量硫化氢、氨、硫醇等恶臭气体，使水质变黑发臭，造成环境质量进一步恶化。需氧污染物质是目前水体中量最大、最经常和最普遍的一种污染物质。

5. 植物营养物质

生活污水和某些工业废水中经常含有一定数量的氮、磷等植物营养物质。施用氮肥和磷肥的农田排水中也会有残余的氮和磷。水体中氮、磷的含量较高时，对一般河流的影响可能还不大，但对湖泊、水库、港湾、内海等水流缓慢的水域就会因此而使藻类等浮游植物及水草大量繁殖。这种现象称为水体的“富营养化”。大量繁殖的藻类使鱼类的生活空间减少，有些藻类还含有毒性藻类死亡腐败后又分解出大量营养物质，促使藻类进一步发展。如此恶性循环的结果，使水体外观呈红色或其他色泽，通气不良，溶解氧含量下降，引起水质恶化、鱼类死亡，严重的还可能导致水草丛生、湖泊退化。

6. 油类污染物质

随着石油事业的发展，油类物质对水体的污染已日益增多。炼油和石油化工工业、海底石油开采、油轮压舱洗舱以及大气中碳氢化合物的沉降等都可使水体遭到严重的油类污染，尤其是海洋采油和油轮事故污染最甚，影响水质、破坏海滩、危害水生生物。

(二) 物理性污染

1. 悬浮物质污染

悬浮物是指水中含有的不溶性物质，包括固体物质和泡沫等。它们是由生活污水、垃圾和采矿、采石、建筑、食品、造纸等产生的废物泄入水中和农田的水土流失所产生的。悬浮物质影响水体外观，妨碍水中植物的光合作用，减少氧气的溶入，对水生生物不利。如果在悬浮颗粒上吸附一些有毒有害的物质，则更是有害。

2. 热污染

来自热电厂、核电站及各种工业过程中的冷却水，如不采取措施，直接排入水体，可能引起水温升高、溶解氧含量降低、水中存在的某些有毒物质的毒性增

加等现象，从而危及鱼类和水生生物的生长。

3. 放射性污染

由于原子能工业的发展，放射性矿藏的开采，核试验和核电站的建立以及同位素在医学、工业、研究等领域中的应用，使放射性废水、废物显著增加，造成一定放射性污染，其中对人体健康有重要影响的放射性物质有 ^{90}Sr 、 ^{137}Cs 、 ^{131}I 等。

(三) 生物性污染

生活污水，特别是医院污水和某些工业废水污染水体后，往往可带有一些病原微生物。例如某些原来存在于人体肠道中的病原细菌，如伤寒、副伤寒、霍乱、细菌性痢疾等都可以通过人畜粪便的污染而进入水体，随水流动而传播。一些病毒，如肝炎病毒、腺病毒等也可在污染水中发现。某些寄生虫病，如阿米巴痢疾、血吸虫病、钩端螺旋体病等也可通过水进行传播。防止病原微生物对水体的污染也是保护环境、保障人体健康的一大课题。

第三节 废水水质指标

水质是指水和其中所含的杂质共同表现出来的物理学、化学和生物学的综合特性。为保护自然界的水体具有良好的水质，保证人类社会的可持续发展，必须对排入水体的污染物数量进行控制。为表征水质的好坏，国家颁布有水质指标，表示水中杂质的种类、成分和数量，是判断水质的具体衡量标准。

水质指标项目繁多，总共可有上百种。它们可分为物理的、化学的和生物学的三大类。

(一) 物理性水质指标

属于这一类的水质指标主要有：

- (1) 感官物理性状，如温度、色度、嗅和味、浑浊度、透明度等。
- (2) 其他物理性水质指标，如总固体、悬浮固体、可沉固体、电导率（电阻率）等。

(二) 化学性水质指标

- (1) 一般的化学性水质指标，如 pH 值、碱度、硬度、各种阳离子、各种阴离子、总含盐量、一般有机物等。
- (2) 有毒的化学性水质指标，如各种重金属、氰化物、多环芳烃、各种农药等。
- (3) 氧平衡指标，如溶解氧（DO）、化学需氧量（COD）、生化需氧量（BOD）、总需氧量（TOD）等。

(三) 生物学水质指标

一般包括细菌总数、总大肠菌群数、各种病原细菌、病毒等。

在工业水处理中，表示废水水质的常用的重要指标有：有毒物质、有机物质、悬浮物、pH值、色度和温度等。

一、有毒物质

有毒物质是指能在环境或者植物、动物体内蓄积，对身体健康产生长远影响的一类物质。例如：汞（Hg），铬（Cr），镉（Cd），砷（As），铅（Pb）等。它们在动物机体中积累到一定数量时，能使体液或组织发生生物化学和生理功能的变化，引起暂时性或持久性的病理状态，甚至危及生命。

对于有毒物质，可以利用生物体的反应来测定物质的毒性。利用毒性试验来判断毒物的浓度，以及确定相应的最高容许浓度，这种方法称为生物监测。由于鱼类对环境和污染物很敏感，所以多用鱼类做毒性试验，进行废水毒性的测定。一般使用半致死浓度（ LD_{50} ）和半致死时间（ LT_{50} ）来表示。所谓半致死浓度是指在一定时间内（96h）可以使一个试验组的鱼类或者其他水生生物 50% 被杀死的特定污染物的剂量或者浓度。而半致死时间是指在一定浓度下，使试验鱼类死亡一半所需的时间。

二、有机物

水中的有机物种类繁多、组成复杂，而且往往含量较低，因此要对各种有机物分别或逐一测定是很困难的。在环境工程实践中，除了对必要的、指定的有机化合物作单项直接测定外，一般采用间接方法，即采用一些综合性指标来反映水中有机物质的相对含量。目前常用的有机物质综合性指标有生化需氧量、化学需氧量和总需氧量等。

（一）生化需氧量（biochemical oxygen demand, 简称 BOD）

生化需氧量表示在有氧的情况下，由于微生物（主要是好氧细菌）的作用而使可降解的有机物被氧化分解而无机化的过程中所需要的氧量，是单位体积被污染水消耗的氧量（mg/L）。

从生化需氧量的定义可以看出，在生化需氧量所表示的有机物中，不包括不可生物降解的那部分有机物，也不包括变成残渣的有机物。因此，生化需氧量只是水中有机物可以被生物分解的一部分，而不是全部。但它代表了水样进入自然界后的真实情况，所以仍然是环境工程中最广泛采用的有机物测定方法之一。

可分解的有机物系指可以作为微生物食料的有机物。这些有机物被微生物氧化分解的过程可以用图 1-2 表示。由图可知，微生物通过自身的生命活动（呼吸、合成等）过程，把一部分被吸收的有机物氧化成简单的无机物 [如二氧化碳（ CO_2 ）、水（ H_2O ）等]，并释放出其生长活动所需要的能量，而把另一部分有机物转化为生物体所需营养物，组成新的细胞物质。 O_a 就是微生物氧化被吸收的那部分有机物所消耗的氧量。在微生物的生长过程中，除吸收进入细菌体内的一部分有机物被氧化、放出能量外，组成微生物的细胞物质也在进行氧化，同时放出能量。这种细胞物质的氧化称为内源呼吸。 O_b 表示这部分内源呼吸所消耗的氧量。 O_a 和 O_b 之和即表示所产生的生化需氧量。

生化需氧量测定是一种生物化学的测定方法，要求尽可能在和天然条件相似

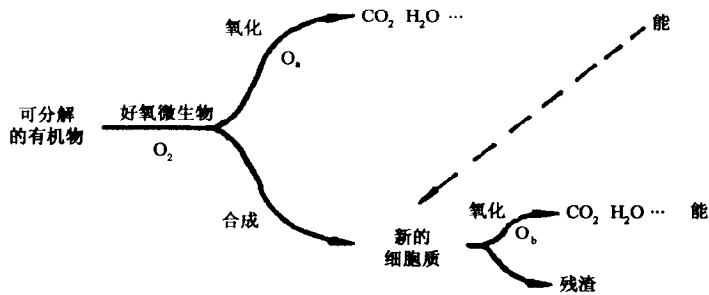


图 1-2 有机物的好氧生物降解

的情况下测定微生物利用废水中的有机物时所消耗的氧量，从而间接表示出有机物的含量。但有机物质生物氧化过程是一个缓慢的过程，且其速率与温度密切相关，在一定范围内，温度越高，微生物活力越强，消耗有机物越快，需要氧气量越多。在实践中，需要对其测定条件进行统一。一般条件下，各国都统一规定采用 5d、 $20^{\circ}\text{C} \pm 1$ 作为生化需氧量测定的标准条件，在此条件下，将水样（或经稀释的水样）注入并充满若干个有水封的玻璃瓶中，视水样不同，确定是否需要接种培养驯化的微生物，对于某些工业废水微生物的接种是必要的。先测出其中一瓶水样当天的溶解氧量，并将其余各瓶放在 $20^{\circ}\text{C} \pm 1$ 的培养箱内培养 5d 后再测其溶解氧量。培养前后的溶解氧之差即为此水样的 BOD_5 。

BOD 测定会受水中还原性物质、接种微生物种类以及有毒物质的影响。

如前所述，有机物质的生物氧化是一个缓慢的过程，有人认为需要 100d 左右才能基本完成。对于多数有机物质而言，经过 20d 大约能完成 95% ~ 99%，5d 的生物氧化约完成 70%。实际上有机污染物经微生物氧化分解过程分为两个阶段：碳化阶段和硝化阶段。

（二）化学需氧量（chemical oxygen demand，简称 COD）

化学需氧量是指在一定条件下，水中各种有机物质与外加的强氧化剂作用时所消耗的氧化剂量。结果用氧的 mg/L 数来表示，即单位体积被污染水所消耗氧量。

常用的氧化剂有重铬酸钾（ $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ）（称为铬法，以 COD_{Cr} 表示）和高锰酸钾（ KMnO_4 ）（称为高锰酸盐指数，以 COD_{Mn} 表示）。

采用重铬酸钾法时，将水样在强酸性条件下，加热回流 2h（有时还加入催化剂），因为重铬酸钾的氧化能力强，与水中有机物作用充分，因此可将水中的绝大部分有机物质氧化，故测得的化学需氧量几乎是废水中有机物的全部。但若废水中含有苯、甲苯等芳香烃类化合物时，则较难氧化。严格说来，化学需氧量也包括了水中存在的无机性还原物质。通常因废水中有机物的数量大大多于无机性还原物质的量，因此在一般情况下，化学需氧量可以用来代表废水中有机物质的总量。

采用高锰酸钾法时，测定比较快速，但只能氧化有机污染物的一部分，不能代表水中有机物质的全部含量。一般来说，水中不含氮的有机物质在测定条件下

易被高锰酸钾氧化，而含氮的有机物就较难分解。因此，该法适用于测定天然水或含容易被氧化的有机物的一般废水。

由于化学需氧量只是间接、相对地反映水中有机物质的数量，在测定时，氧化剂的种类和浓度，反应溶液的酸度、试剂加入的顺序、反应时间和温度等条件对测定结果均有影响，因此必须严格按步骤操作。

我国已把重铬酸钾法规定为标准测定方法。

化学需氧量和生化需氧量的测定都是用定量的数值来间接地、相对地表示水中有机物质数量的重要水质指标。若同一废水中各种有机物质的相对组成没有变化，则一般 $COD_{Cr} > COD_{Mn} > BOD_5$ 。

化学需氧量几乎可以表示出水中有机物质全部氧化所需的氧量，而生化需氧量则反映了能被微生物氧化分解的有机物质氧化时所需的氧量。如果某一废水的 $BOD_5/COD > 0.3$ ，一般认为此种废水是适宜于生物化学处理方法的。比值越大，可生物处理性越强。如果此比值小于 0.3，则说明该废水不可生物分解的有机物质数量很多，需采用其他处理途径。

表 1-1 列出了 BOD 和 COD 各自的特点。

表 1-1 BOD 和 COD 的比较

| | 优 点 | 缺 点 |
|-----|------------------------------------|--------------------|
| BOD | 能反映水体中有机物氧化分解氧量，符合实际，直接确切说明问题 | 需时长 (5d)，不够及时，受干扰大 |
| COD | 需时短 (2h)，可表示全部有机物氧化时需要的氧量，不受废水水质影响 | 不能反映被微生物氧化分解的有机物质 |

(三) 总需氧量 (Total Oxygen Demand ，简称 TOD)

总需氧量是指水样中的有机物在 900 高温下燃烧变成稳定的氧化物时所需的氧量 (mg/L)，一般 $TOD > COD > BOD_5$ 。

(四) 总有机碳 total organic carbon ，简称 TOC)

将水样在 900 ~ 950 高温下燃烧，有机碳即氧化成 CO_2 ，测量此时产生的 CO_2 量，就可以得出水样的总有机碳值。单位常以碳 (C) 的 mg/L 计。水样中的无机碳在此高温下也会转化为 CO_2 ，故测定时须采取措施去除无机碳的干扰。

TOC 和 TOD 都是近年来发展起来的用以间接表示水中有机物含量的综合性指标，它们都需要在专门的仪器中进行 (分别称为总需氧量测定仪和总有机碳测定仪)。它们几乎可以反映水中有机物质的总量。但个别相当耐久的有机化合物不易被燃烧氧化，故均稍低于理论值。由于采用仪器测定，故而快速简便，可连续自动监测，但仪器较为昂贵，尚未普及。

三、溶解氧 (dissolved oxygen ，简称 DO)

溶解氧表示溶解于水中的氧量，其值与空气中氧气分压、大气压力和水的温度有关。当水中的溶解氧小于 4mg/l 时，鱼类就会死亡。

四、pH 值

pH 值是表示废水的酸碱性的指标，是废水排放测定的最基本指标之一。

五、悬浮物 (suspended solids, 简称 SS)

水中悬浮物质是重要的监测项目之一。工业废水常常带有悬浮物，如造纸和纤维工业废水中常含有细小纤维、胶料、填料、涂料等。悬浮物在水体中存在时间长，分解消耗溶解氧多，如细小纤维完全分解需要消耗它自身重量约 1.5 ~ 2.5 倍的溶解氧，要多达 10 年才能完全分解。同时悬浮物易沉积河底，影响水生生物生长；厌氧发酵时又会生成硫化氢和甲烷等有害气体；细小纤维等堵塞鱼鳃，造成鱼类死亡。

六、色度 (colourity)

纯水是无色的，但自然界中的水往往受外来杂质的影响而呈现出一定的颜色。

水的颜色有真色和表色之分。真色是由于水中所含溶解物质或胶体物质所致，即除去水中悬浮物之后所呈现的颜色。表色则包括有溶解物质、胶体物质和悬浮物质共同引起的颜色。通常只对天然水和用水作真色的测定。水样如较浑浊，应事先静置澄清或用离心法除去混浊物质而不能用滤纸过滤，因为滤纸可能除去一些真色。测定的方法是用铂钴标准比色法。先用氯铂酸钾 (K_2PtCl_6) 和氯化钴 ($CoCl_2 \cdot 6H_2O$) 配成天然水黄色色调相同的标准比色系列，然后将水样与此标准系列进行比较，结果以“度”表示。1L 水中含有相当于 1mg 铂时所产生的颜色规定为 1 度，亦称 1 个真色单位 (TCU, true colour unit)。

对于废水和污水的颜色不作上述真色测定，而常用文字描述。必要时也可辅以稀释倍数法，即在比色管中将水样用无色清洁水稀释成不同倍数，并与液面高度相同的清洁水作比较，取其刚好看不见颜色时的稀释倍数，此即为色度。在此法中，色度用稀释倍数来表示。

近年来，也有用分光光度法进行颜色测定的。

水的色度是评价感官质量的一个重要指标。有异常颜色的水也是受到污染的一种标志。

七、浊度 (turbidity)

天然水中由于含有各种颗粒大小不等的溶解物质，如泥沙、纤维、有机物和微生物等而会产生混浊现象。水的浑浊程度可用浑浊度的大小来表示。所谓浑浊度是指水中的不溶性物质对光线通过时所产生的阻碍程度。也就是说，由于水中有不溶解物质的存在，使通过水样的一部分光线被吸收或被散射了，而不是全部呈直线穿透。因此，浑浊现象是水的一种光学性质。

一般来说，水中的不溶解物质越多，浑浊度也越高，但两者之间并没有固定

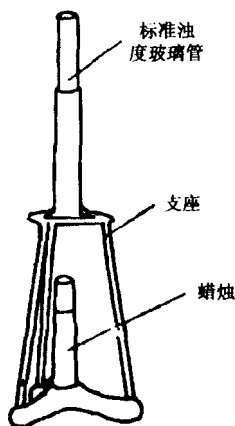


图 1-3 烛光浊度计

的定量关系。这是因为浊度是一种光学效应，它的大小不仅与不溶解物质的数量、浓度有关，而且还与这些不溶解物质的颗粒尺寸、形状和折射指数等性质有关。例如一杯清水中的一颗小石头并不会产生浊度，但如果把它粉碎成无数细微颗粒，就会使水混浊，就可测出浊度来了。

最早用来测定浊度的仪器是杰克逊烛光浊度计（Jackson candle turbidimeter）。它有 3 个基本部件组成：标准浊度玻璃管、支座和蜡烛（图 1-3）。由于引起浑浊的物质种类非常广泛，因此有必要采用一个标准的浊度单位，即在蒸馏水中含有 1mg/l 的 SiO_2 称为一个浊度单位或 1 度。标准浊度玻璃管上的刻度就是根据一定粒径纯二氧化硅的浊度来标刻的。由此测得的浊度称为杰克逊浊度单位（JTU, Jackson turbidity unit）。

近年来，光电浊度计得到了广泛的应用。它是依光线的散射原理而制成的。根据丁道尔效应，散射光强度与悬浮颗粒的大小和总数成比例，即与浊度成比例，散射光的强度愈大，表示浊度越高。但要注意，光电浊度计（亦称散射浊度计）与烛光浊度计在光学系统上是有差别的：前者测得的是浑浊物质对光线在一个特定方向（与入射光成 90° 直角）的散射光强度；而后者是混浊物质对光线通过时的总阻碍程度，包括吸收和散射的影响。因此，即使散射浊度计经过烛光浊度计的校准，两者所测得的结果也很难彼此完全一致。这种在散射浊度计上测得的浊度称为散射浊度单位（NFU, nephelometric turbidity unit）因为采用一种由一定浓度的硫酸胍 $(\text{NH}_2)_2 \cdot \text{H}_2\text{SO}_4$ 和己撑四胺 $(\text{CH}_2)_6\text{N}_4$ 混合而成的化合物（称为甲贲聚合物，Formazin Polymer）配置的浑浊液作为测定散射光强度的标准参考浑浊液，因此有些文献中又把散射浊度单位称为甲贲浊度单位（FTU, formazin turbidity unit）。

浊度是天然水和用水的一项非常重要的水质指标，也是水可能受到污染的重要标志。

除了上述的水质指标外，针对不同废水还有其他项目，如针对造纸废水的总还原硫等。这些项目可参考有关资料。

第四节 水质标准

无论是作为生活饮用水、工业给水、农业用水、渔业用水，还是作为航运、旅游和水能利用等，都对水有一定的要求。也就是说，针对不同的用途，要建立起相应的物理、化学和生物学的质量标准，对水中的杂质加以一定的限制。另外，为了保护环境、保护水体的正常用途，也需要对排入水体的生活污水和工农业废水水质提出一定的限制和要求。这些就是水质标准。

水质标准也是环境标准的一种。在环境工程实践中遇到的有关水质标准有两类。

一类是国家正式颁布的统一规定，如由卫生部 1985 年颁布的《生活饮用水卫生标准》，由国家环保局 1988 年颁布的《地面水环境质量标准》，由国务院环

环境保护领导小组、国家建设委员会、国家经济贸易委员会和农业部 1979 年颁布的《农田灌溉水质标准》和国家环保局 1988 年颁布的《污水综合排放标准》等。这些标准中对各项水质指标都有明确的要求尺度和界限。它们都是一种法定的要求，具有指令性和法律性，有关部门、企业和单位都必须遵守。

另一类是各用水部门或设计、研究单位为进行各项工程建设和工艺生产操作，根据必要的实验研究或一定的经验所确定的各种水质要求，如各种工业企业用水的水质要求等。这类水质要求只是一种必要的和有益的参考，并不都具有法律性。

习惯上常把前一类国家或政府正式颁布的统一规定称作水质标准，而把后一类由一些有影响的部门建立的参考规定称为水质要求。

下面着重介绍几种常用的水质标准和水质要求。

一、饮用水水质标准

饮用水直接关系到人民日常生活和身体健康，因此供给居民以质量优良、数量充足的饮用水是最基本的卫生条件之一。附表 1-1 是我国 1985 年颁布的《生活饮用水水质标准》（GB5749-85）中生活饮用水水质标准的主要内容。

生活饮用水水质标准的制定原则主要是：

(1) 流行病学上应安全可靠，即要求水中不含有各种病原微生物和寄生虫卵，以防止水性传染病的传播；

(2) 化学组成上应对人体无害，即要求水中所含某些物质的浓度对人体健康不应产生毒害和不良影响，在毒理学、心理学上都应有益无害，对人体的感官无不良刺激；

(3) 在使用上应方便无弊，如水的硬度过高，会在配水系统中形成水垢，洗衣时需耗费过量的肥皂。又如水中含铁量过高会使衣服、器皿有锈斑染色和形成沉淀等。

由于各国的生活水平、饮用习惯和气候条件等差异，因此许多国家都有自己的生活饮用水标准。

二、地面水环境质量标准

保护地面水体免受污染是整个环境保护工作的重要任务之一，它直接影响水资源的合理开发和有效利用。这就要求一方面制定水体的环境质量标准和废水的排放标准；另一方面要对必须排放的废水进行必要而适当的处理。

1988 年国家环保局修订并颁布了《地面水环境质量标准》（GB 3838-88）。该标准依据地面水水域使用目的和保护目标，将我国地面水划分为五类：

I 类：主要适用于源头水、国家自然保护区；

II 类：主要适用于集中式生活饮用水水源地一级保护区、珍贵鱼类保护区、鱼虾产卵场等；

III 类：主要适用于集中式生活饮用水水源地二级保护区、一般鱼类保护区及

游泳区；

Ⅳ类：主要适用于一般工业用水区及人体非直接接触的娱乐用水区；

Ⅴ类：主要适用于农业用水区及一般景观要求水域。

同一水域兼有多种功能的，以最高功能划分类别。不同功能的水域执行不同标准值（见附表 1-2）。

三、污水综合排放标准

只对地面水体中有害物质规定容许标准值还不能完全控制各种工业废弃物对水体的污染。为了进一步保护水环境质量，必须从控制污染源着手，制定相应的污染物排放标准。1988 年国家环保局颁布的《污水综合排放标准》（GB 8978-88）就是其中之一。

该标准对向地面水体和城市下水道排放的污水，分别规定了执行的级别标准。它还将排放的污染物按其性质分为两大类：一类污染物是指能在环境和动植物体内蓄积，对人体健康产生长远不良影响者，如汞、镉、铬、砷、苯并（a）芘等；另一类污染物是指长远影响小于前者的。各类污染物都分别列出了最高允许排放浓度（见附表 1-3 和附表 1-4）。对于特殊保护水域，如《地面水环境质量标准》中的Ⅰ、Ⅱ类水体，不得新建排污口。对于重点保护水域，如Ⅲ类水体，应执行一级标准。对于一般保护水域，如Ⅳ、Ⅴ类水体，则执行二级标准。对排入城市下水道并进入二级污水处理厂的污水执行三级标准。此外，该标准还规定了矿山、钢铁、焦化、石油化工、农药、造纸等 26 个行业的最高允许排水定额和相关污染物最高允许排放浓度。详细内容可查阅此标准正文。

近年来，许多行业制定了自己的行业标准，以取代其在该标准中相应的部分。在实际应用中，应根据当地环保部门的要求，确定所要达到的环保要求。

一般来说，生活污水和工业废水在排入水体和城市下水道之前，常需经过一定程度的处理，使其水质符合相应的标准，不得任意排放。

四、工业用水水质要求

工业企业中水的用途非常广泛，主要包括饮用水、生产技术用水、锅炉用水、冷却用水等。不同的行业、不同的生产工艺过程、不同的使用目的，有不同的水质要求。具体的要求可参阅相关的标准。

其他如农田灌溉用水、渔业用水、海水等都有相应的水质标准，在此不一一叙述。

第五节 水体自净作用与水环境容量

水体作为一个生态系统，具有一定自动调节平衡的能力。当未经处理的废水进入水体后，会使水中的物质组成发生变化，破坏了原有的物质平衡，造成水质恶化。但作为一个生态系统，污染物会参与水体中的物质转化和循环过程，如果

随废水进入的污染物的量在该水体的调节范围之内，则经过一系列的物理、化学和生物学变化，污染物质被分离或分解，水体将基本上或完全恢复到原来的状态，这种自然净化的过程叫做水体自净。

水体自净的过程十分复杂，受很多因素的影响。从机理上看，水体自净主要有以下几种过程：

- (1) 物理过程 包括稀释、扩散、挥发、沉淀等过程；
- (2) 化学和物理化学过程 包括氧化、还原、吸附、凝聚、中和等反应；
- (3) 生物学和生物化学过程 进入水体中的污染物质，特别是有机物质，由于水中微生物的代谢活动而被分解氧化并转化为无机物的过程。

在实际地面水体中，这几种作用常互相交织，综合进行。从水体污染控制的角度来看，水体对废水稀释、扩散以及生物化学降解作用是水体自净的主要问题。我们所采取的各种环境工程的处理手段，有很多也是在天然水体自净的基础上加以强化而得以实现的。

一、废水在水体中的稀释和扩散

稀释实际上只是将废水中的污染物质扩散到水体中去，从而降低这些物质的相对浓度。单纯的稀释过程并不能除去污染物质。

(一) 稀释机理

污染物质进入河流水体后，产生两种运动形式。一种是污染物质由于河流流速的推动沿着水流前进的方向运动。这一水流输送污染物质的形式，称为推流或平流。以公式表示为：

$$Q_1 = vC \quad (1-1)$$

式中： Q_1 ——污染物质推流量 [$\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$];

v ——河流流速 (m/s);

C ——污染物质浓度 (mg/m^3)。

由式(1-1)可见，河流流速越大，单位时间内通过单位面积扩散的污染物质数量(污染物质推流量)越多。

另一种运动形式为扩散。由于污染物的进入，使水流产生了浓度的差异，污染物质由高浓度处向低浓度处迁移这种运动形式称为扩散。浓度差异越大，单位时间内通过单位面积扩散的污染物质的量(污染物质的扩散量)也越多

$$Q_2 = -K \frac{dC}{dx} \quad (1-2)$$

式中： Q_2 ——污染物质扩散量 [$\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$];

dC/dx ——单位路程上的浓度变化值 [$\text{mg}/(\text{m}^3 \cdot \text{m})$]， C 为污染物质浓度， x 为路程长度。由于 x 值增大时 C 值相应变小，故 dC/dx 为负值；

K ——扩散系数 (m^2/s)，它与河流的弯曲程度、河床底部的粗糙程度以及流速、水深有关。

推流和扩散是两种同时存在而又相互影响的运动形式，由此造成污染物质的浓度从排污口往下游逐渐降低和稀释。

(二) 水体混合稀释

废水排入河流后，会因推流和扩散作用而逐渐与河水相混合，污染物质的浓度逐渐降低，此过程是逐渐的而不能马上与全部河水混合。影响混合过程的因素主要有：① 河水流量与废水流量的比值。此值大时，就需要通过较长的距离，才能在整个河流断面上，达到完全均匀的混合。② 废水排放口形式。如果废水在岸边集中排放，则完全混合所需的时间和距离较长；如果是分散地排放于河流中央，则完全混合所需时间较短。③ 河流的水文条件，如河深、流速、河道弯曲状况、是否有急流、跌水等都会影响混合程度。

显然，在未达到完全混合的河道断面上，只有一部分河水参与了对废水稀释。参与混合稀释的河水流量与河水总流量之比称为混合系数。以公式表示为：

$$a = \frac{Q_1}{Q} \quad (Q_1 \leq Q) \quad (1-3)$$

式中： a ——混合系数；

Q_1 ——参与混合稀释的河水流量；

Q ——河水总流量。

在完全混合的河道断面上及其下游，混合系数 $a = 1$ ，而从废水排放口到完全混合断面的这段距离内， $a < 1$ 。当河道较为平直且无局部急流险滩的地段，混合系数也可以近似的用下式表示：

$$a = \frac{L_1}{L} \quad (L_1 \leq L) \quad (1-4)$$

式中： L_1 ——废水排放口至计算断面的距离；

L ——废水排放口至完全混合断面的距离。

废水被河水稀释的程度，用稀释比 (n) 表示。它是参与混合稀释的河水流量 (Q_1) 与废水量 (q) 的比值：

$$n = \frac{Q_1}{q} = \frac{aQ}{q} \quad (1-5)$$

在实际工作中需根据具体情况来确定混合系数 a 值。一般情况下可按经验，对于流速在 $0.2 \sim 0.3 \text{ m/s}$ 的河流，取 $a = 0.7 \sim 0.8$ ；流速较低时， $a = 0.3 \sim 0.6$ ；流速较高时，则可取 $a = 0.9$ 左右。

如果能较好地设计废水排放口以促进废水与河水的混合，例如采用分散式排放口或将排放口伸入水体，并装置多孔出口等设备或把废水送到水流湍急的地方，则可考虑取 $a = 1$ 。计算断面上，水中污染物质的浓度可按下式求出：

$$C = \frac{C_1 q + C_2 a Q}{a Q + q} \quad (1-6)$$

式中： C_1 ——废水中污染物质的浓度 (mg/L)；

C_2 ——原来河水中污染物质的浓度 (mg/L)；

C ——计算断面上，水中污染物质的浓度（ mg/L ）；

a 、 q 、 Q ——同前。

如果河水中原无此污染物质，且河水流量远大于废水流量时，上式可简化

$$C = \frac{C_1 q}{aQ} = \frac{C_1}{n} \quad (1-7)$$

二、水体的生化自净

废水进入河流后，除得到稀释外，其中的有机污染物质还会在水中微生物的作用下进行氧化分解，逐渐变成无机物质。这一过程称为水体的生化自净。有机污染物质可以通过生化自净而消除或减少，而大多数无机污染物质只能通过稀释而降低其浓度，却并未减少其总量。

在有机物质被微生物氧化分解的过程中需要消耗一定的氧。这部分氧用于碳化作用和硝化作用。除此以外，废水中的还原性物质（如 SO_3^{2-} ）沉积，在水底的淤泥分解时，以及一些水生植物在夜间呼吸时，都要从水中吸收氧气，从而降低水中的溶解氧含量。由于这些原因，水体中的溶解氧经常在消耗着。

上述各个过程中所消耗的氧一般有 3 个来源：水体和废水中原来含有的氧。大气中的氧向含氧不足的水体扩散溶解，直到水体中的溶解氧达到饱和。

水生植物白天通过光合作用放出氧气，溶于水中，有时还可使水体中的氧达到过饱和状态。因此，水体中的氧气在被消耗的同时，又逐渐得到补充和恢复。这就是水体中的耗氧和复氧过程。当河流接纳废水以后，排入口（受污点）下游各点处溶解氧的变化是十分复杂的。在一般情况下，紧接着排污口的各点，溶解氧逐渐减小（图 1-4），这是因为废水排入后，河水有机物较多，它的耗氧速度超过了河流的复氧速度。随着河水中有机的逐渐氧化分解，耗氧速度逐渐降低。在排污口下游某点处出现耗氧速度与复氧速度相等的情况。这时，溶解氧的含量极低，过了这一点，溶解氧又逐渐回升。这一点称为最缺氧点。再往下游，复氧速度大于耗氧速度，如果不再受新的污染，河水中的溶解氧会逐渐恢复到废水排入口之前的含量。

假如以流程，即各点距排入口的距离为横坐标，以各点处的溶解氧量为纵坐标，就可以得到一条氧垂曲线。这种氧垂曲线的形状会因各种条件（如废水中有机物浓度、废水和河水的流量、河道弯曲状况、水流湍急情况等）的不同而有一定的出入，但总的趋势是相似的。

如果河流受到有机物质污染的量低于它的自净能力，这条曲线的最缺氧点（氧垂点）的溶解氧量将大于零，河水始终处于有氧状态。反

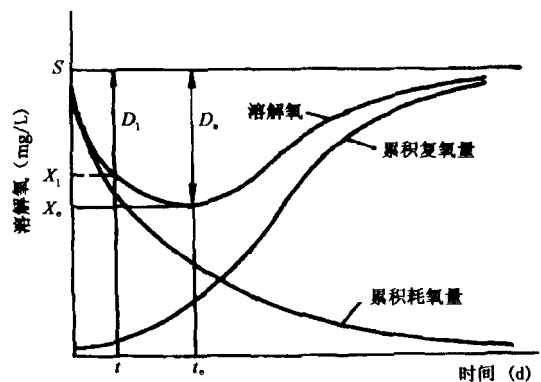


图 1-4 氧垂曲线