

第六章 废水处理

Robert A. Corbitt*

废水是家庭、商业建筑、工厂与各公共单位的排水和排水所携入的废弃物，以及进入到下水道的地下水、地表水和雨水等的总称^[1]。

作为最基本的要求，应对悬浮固体和可溶性有机物进行处理。要去除一些特殊污染物如源于生活区的磷或者来自电镀行业的重金属等，往往需进行特别的处理。废水处理的最基本要求取决于有关法规。例如在美国，生活废水处理的最基本要求是去除 85% 的耗氧有机物、悬浮固体和消毒。进一步的处理包括营养物质的去除则决定于水体的接受能力和用途。

物理方法主要用于去除悬浮固体。粗格栅栏除碎片和其他较大的固体，而重力或曝气沉砂池则去除沙砾等物体，这些物体均可能损坏或影响后续的泵以及处理设备。重力沉淀通常用来去除较细小的悬浮固体。但在某些特殊情况下也会利用离心、气浮和渗滤等方法去除悬浮固体。

可溶性有机物一般用生化工艺来处理。比较常用的是好氧工艺，这包括好氧或兼性塘、滤池和活性污泥法等。浓缩过的废弃物如污泥，或高浓度的工业废水如屠宰废水和酿造废水等则通常考虑用厌氧工艺来处理。

污泥，主要来自于生化处理过程，需要特别的处理。这包括稳定、调节、脱水、干燥和排放。土地利用和填埋是非常实用的最后排放方法，但是人们已对之愈益关注，因为污泥含有高浓度的污染物，例如重金属和病原体等。

其他还有许多处理方法，但人们兴趣越来越浓的是所谓自然法，包括利用塘等水体以及土地。新的进展包括应用自然的或人工的湿地系统以获得高质量的出水。

废水污染物：来源和影响

由于废水来源极为广泛，其内容也非常复杂而多变，因而废水对环境的影响是多种多样的。下面我们就来讨论废水的种类、来源和对环境的影响。

废水的种类

一系列重要的废水污染物以及它们为什么重要的理由列于表 6.1。关于这些污染物详细而具体的分析方法可参见“水和废水检测的标准方法 (Standard Methods for Examination of Water and Wastewater)”^[3]。

悬浮固体 悬浮固体之所以被视为重要的污染物主要是因为其可能造成一些有碍观瞻的

* 供稿的有 Gregory G. Boardman, Duncan M. Powell, George C. Patrick, C. E. Swindell, Robert W. Troxler, Arnold S. Vernick 和 Robert D. Wilroy.

情况，造成污泥的淤积，以及要消耗氧气。测定废水中悬浮固体的标准方法是用 0.45 μm 孔径的滤纸去对废水进行过滤。经约 103℃ 的温度烘干后留在滤纸上的可视为悬浮固体。表 6.2 给出了废水中固体的分类。

可生物降解的有机物 如表 6.1 所示，可生物降解的有机物需予以重视是因为这些物质在水体环境中降解，将耗费掉溶解氧。由于氧在水中溶解度不高（见表 6.3），因而当不是有控制地将有机物排放入水体时水中的氧极易被消耗殆尽，于是便变为厌氧状态。虽然大部分物质也能在厌氧条件下降解，但是过程往往很慢，而且常常会产生污秽臭气等。

表 6.1 废水处理中的重要污染物^[2]

污染物		为什么重要的理由
物理的	悬浮固体	美学上的原因、能导致产生污泥淤积和形成厌氧状态
化学的	可生物降解有机物	可生物降解有机物主要由蛋白质、碳水化合物和脂肪构成，通常测量其 BOD（生化耗氧量）和 COD（化学耗氧量）。如不经处理就将这些物质排放，那么它们在生物稳定时会导致环境中的氧气的耗尽和腐烂现象。
	营养物质	碳、氮和磷是生长所需的基本营养物质，当排入水体时会导致不希望的水生物的生长，当过量排入土地时会污染地下水。
	难降解有机物	这些有机物是常规废水生化处理方法所难以降解的，典型的如表面活性剂、苯酚和农药等。
	重金属	由于它们有毒，因而对生化处理过程和水生物有负面影响。
生物的	溶解性无机固体	生活用水经使用后常含有钙、钠和硫酸盐等，如想再用这些水须把前述无机物去除。
	病原菌	废水中的病原微生物可以导致传染病。

表 6.2 废水中固体的一般分类

粒子分类	粒子尺寸, mm
可溶性的	$\leq 10^{-6}$
胶体	$10^{-6} \sim 10^{-3}$
悬浮的	$\geq 10^{-3}$
可沉淀的	$\geq 10^{-2}$

表 6.3 氧在水中的溶解度^{*[3]}

温度℃	水中氯化物浓度, mg/L				
	0	5 000	10 000	15 000	20 000
0	14.60	13.72	12.90	12.13	11.41
1	14.19	13.35	12.56	11.81	11.11
2	13.81	12.99	12.23	11.51	10.83
3	13.44	12.65	11.91	11.22	10.56

温度℃	水中氯化物浓度, mg/L				
	0	5 000	10 000	15 000	20 000
4	13.09	12.33	11.61	10.94	10.30
5	12.75	12.02	11.32	10.67	10.05
6	12.43	11.72	11.05	10.41	9.82
7	12.12	11.43	10.78	10.17	9.59
8	11.83	11.16	10.53	9.93	9.37
9	11.55	10.90	10.29	9.71	9.16
10	11.27	10.65	10.05	9.49	8.96
11	11.01	10.40	9.83	9.28	8.77
12	10.76	10.17	9.61	9.08	8.58
13	10.52	9.95	9.41	8.89	8.41
14	10.29	9.73	9.21	8.71	8.24
15	10.07	9.53	9.01	8.53	8.07
16	9.85	9.33	8.83	8.36	7.91
17	9.65	9.14	8.65	8.19	7.78
18	9.45	8.95	8.48	8.03	7.61
19	9.26	8.77	8.32	7.88	7.47
20	9.07	8.60	8.16	7.73	7.33
21	8.90	8.44	8.00	7.59	7.20
22	8.72	8.28	7.85	7.45	7.07
23	8.56	8.12	7.71	7.32	6.95
24	8.40	7.97	7.57	7.19	6.83
25	8.24	7.83	7.44	7.06	6.71
26	8.09	7.69	7.31	6.94	6.60
27	7.95	7.55	7.18	6.83	6.49
28	7.81	7.42	7.06	6.71	6.38
29	7.67	7.30	6.94	6.60	6.28
30	7.54	7.17	6.83	6.49	6.18
31	7.41	7.05	6.71	6.39	6.08
32	7.28	6.94	6.61	6.29	5.99
33	7.16	6.82	6.50	6.19	5.90
34	7.05	6.71	6.40	6.10	5.81
35	6.93	6.61	6.30	6.01	5.72
36	6.82	6.51	6.20	5.92	5.64

* 在全压力为 101.3 kPa 时。其他大气压力 P 条件下, 可用下面公式从表中相应值计算出 S^1 (mg/L):

$$S^1 = S \frac{P - p}{760 - p}$$

式中: S 为 101.3 kPa 时的溶解度, 而 p 则是在该水温时的饱和水蒸气压力 (mm)。当海拔低于 1000 m 并且温度低于 25℃ 时, 可以忽略 p , 于是公式可简化为:

$$S^1 = S \frac{P}{760}$$

这里假设干燥空气里氧气百分比为 20.90%。

一些常见的会导致难闻气味的物质列于表 6.4。碳、氮、硫、氢和磷在好氧和厌氧条件下的最终产物示意性地列于表 6.5。

表 6.4 一些讨厌的气味^[4,5]

化合物	典型的分子式	气味
胺	CH ₃ NH ₂ , (CH ₃) ₃ N	鱼腥臭
氨	NH ₃	氨
二胺	NH ₂ (CH ₂) ₄ NH ₂ , NH ₂ (CH ₂) ₅ NH ₂	腐肉
硫化氢	H ₂ S	臭鸡蛋
硫醇	CH ₃ SH, CH ₃ (CH ₂) ₃ SH	臭鼬
有机硫化物	(CH ₃) ₂ S, CH ₃ SSCH ₃	烂菜
粪臭素	C ₈ H ₅ NHCH ₃	粪便

表 6.5 好氧和厌氧终产物^{*[6]}

在溶解氧存在情况下好氧稳定	在没有溶解氧情况下厌氧分解
	$\text{CO}_3^{2-} \leftrightarrow \text{CO}_2 \leftrightarrow \text{C} \rightarrow \text{CH}_4 \text{ 和 } \text{CO}_2$
	$\text{NO}_3^- \leftrightarrow \text{NO}_2^- \leftrightarrow \text{NH}_3 \leftrightarrow \text{N} \rightarrow \text{NH}_3$
	$\text{SO}_4^{2-} \leftrightarrow \text{S} \rightarrow \text{H}_2\text{S}$
	$\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{H} \rightarrow \text{有机副产物或 } \text{NH}_3$
	$\text{PO}_4^{3-} \leftrightarrow \text{P}$

* 可参见图 6.2 和 6.3。

鉴于估测废水耗氧潜能的重要性，在这些年里开发了好几种技术。最普遍采用的是生化耗氧量 (BOD)、化学耗氧量 (COD) 和总有机碳 (TOC) 测定。BOD 测定是观察微生物在 20℃ 温度下在一组反应器里 5 天降解有机物质情况。通常通过确定置于反应器 (或 BOD 瓶) 内的样品体积和 5 天里瓶内消耗的氧气来计算废水的 BOD。如图 6.1 所示，BOD₅ 大约为总含碳物质氧化所耗或最终 BOD (BOD_{ult}) 的 60%~70%。从图 6.1 同时还可看出在约 10~12 天时可能会出现由于硝化作用的耗氧量。硝化作用是指氨 (NH₃) 转化为亚硝酸盐和硝酸盐 (见表 6.5)。

COD 测试是将样品放入含有强氧化剂铬酸 (重铬酸盐离子和硫酸) 的烧瓶里，样品和氧化剂混合液在炉子上回流两小时后移去，仍保留在烧瓶内的重铬酸盐通过氧化还原滴定来测定。在测试中用去的重铬酸盐与样品中的 COD 成正比关系。

测量样品中的 TOC 有几种不同的体系，但最常用的一种是将废水样品注入燃烧室里在好氧条件下焚烧。样品中有机碳在这个过程中所形成的二氧化碳可用红外光谱测定。

对上面所述及的耗氧量参数以及其他一些较为重要的相关名词概念列于表 6.6。

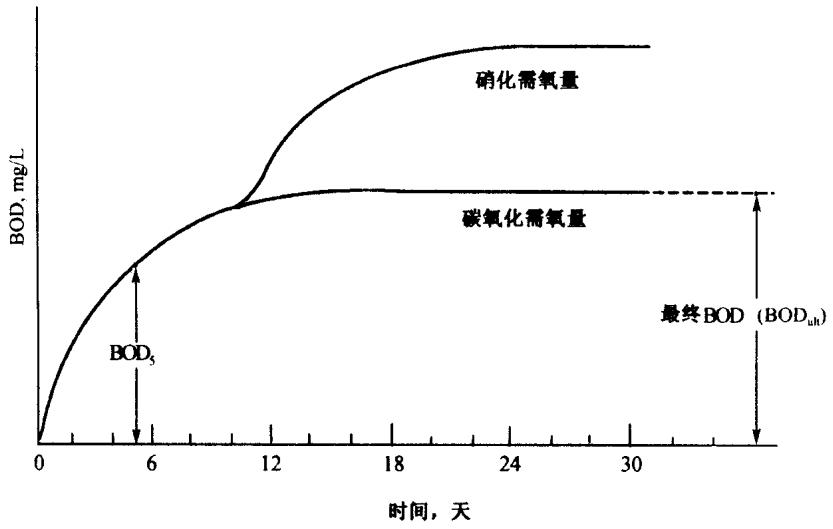


图 6.1 典型生化耗氧量 (BOD) 曲线

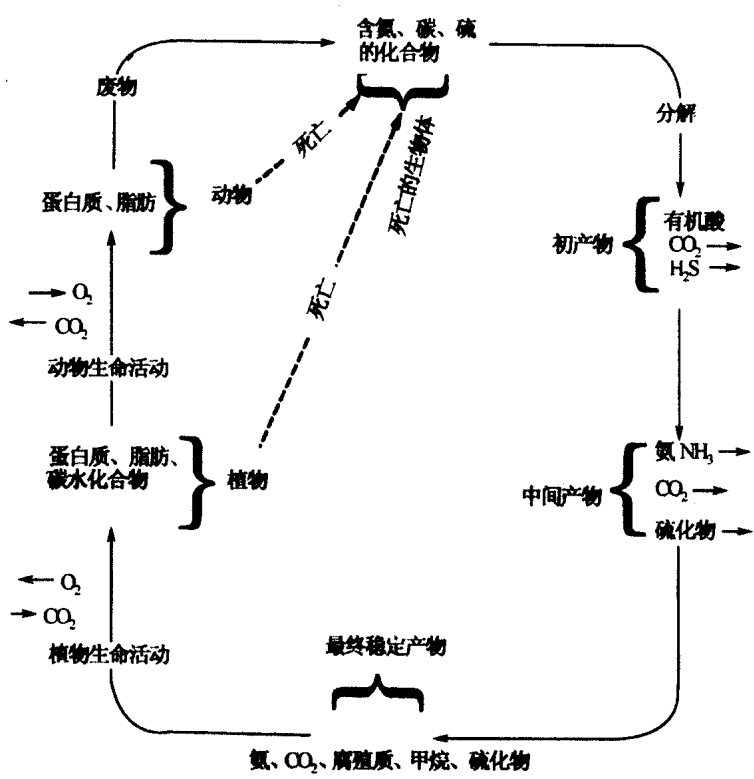


图 6.2 厌氧氮、碳和硫循环^[8]

表 6.6 耗氧量 and 有机碳参数^[7]

BOD ₅	5 天内的生化或生物耗氧量，即废物通过微生物活动的耗氧，通常为 THOD 的 45% ~ 55%。
COD	化学耗氧量，由于废物所消耗的强氧化剂（铬酸），表示为等值的氧，通常为 THOD 的 80%。
THOD	理论耗氧量，理论上将化合物彻底氧化为 CO ₂ 、H ₂ O、PO ₄ ³⁻ 、SO ₄ ²⁻ 和 NH ₃ 所需消耗的氧。
TOC	总有机碳，通常为 THOD 的 30%。
BOD _{ult}	最终 BOD，指废物在“无限长时间里”的生化好氧量。
IOD	瞬时耗氧量，不用化学氧化剂和微生物的情况下废物在 15 分钟内的耗氧量。
DO	溶解氧，见表 6.3。

营养物质 生命体需要多种多样的微观和宏观营养物质，但是废水中最基本的营养需求是碳、氮和磷。生活废水（主要指与工业废水相对的产生于家庭和生活）中通常碳比氮多，而氮又比磷多，这也正与生命所需的各种元素比例相同。另外一种很重要的营养元素是硫。含有碳、氮、磷等元素的化合物的好氧和厌氧循环示意图 6.2 和图 6.3。

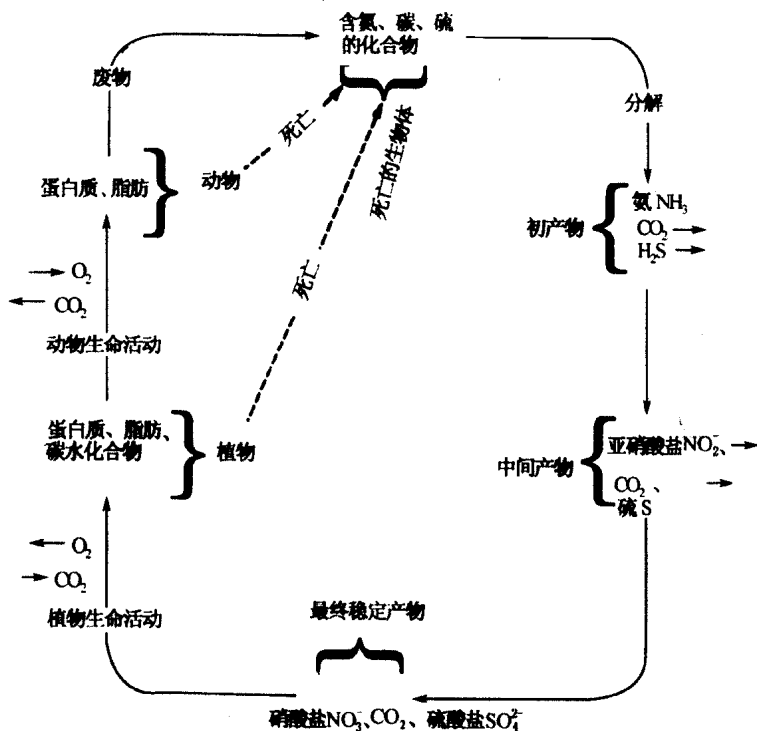


图 6.3 好氧氮、碳和硫循环^[8]

难降解有机物 难降解有机化学物质也是要重视的，它们的特点为对生物降解有抵抗性。氯化杀虫剂、含芳基和烷基磺酸盐基团清洁剂、聚乙烯、聚氯乙烯、氟化烃等就是较常见的难降解有机物。

重金属 任何阳离子其原子量大于 23（即钠的原子量）即被视为重金属，所以显而易见废水中含有很多种重金属*。由于许多重金属可能是有毒的或致癌的，因而废水中重金属的种类和含量必须予以重视。第三章里给出了一些金属在淡水和饮用水中的允许含量。

可溶性无机固体 因为许多无机盐溶解于水，所以可溶性无机固体种类繁多。人们可以通过用过滤的方法来确定废水中的可溶性无机盐含量。首先用 0.45 μm 的滤纸对样品加以过滤，将滤出物在 103℃ 的温度下把水分蒸发掉，然后在 550℃ 温度下把有机成分焚烧掉，残留在容器里的物质被视为不易挥发的或可溶性无机盐。

病原体 表 6.1 中作为第三大种类列出的是病原体。有许许多多的生物体能够导致疾病，我们在表 6.7 中仅列出最常见的一些，比如细菌、原生动物、病毒和肠内病原体等等。

表 6.7 废水中常见的病原体^[6]

疾病	病原体	说明
微生物		
炭疽热	炭疽菌	孢子，很难处理
杆菌性痢疾 (志贺氏菌病)	痢疾杆菌、福我氏 痢疾杆菌、波伊德 氏志贺氏菌、宋内 氏痢疾杆菌	这些疾病主要通过水、直接接触、牛奶、食物和苍蝇等 传染。利用充足的水保持清洁有利于防止。
普鲁氏菌病	普鲁氏菌	一般经由被感染的牛奶或接触而传播，废水被视为传播 途径之一。
霍乱	S 型霍乱菌	第一波流行性霍乱是由水传染的，第二波和地方性的则 系经由接触、食物和苍蝇传染。
食物中毒	沙门氏菌	通常从废水中分离出。
细螺旋体病	细螺旋体菌	下水道老鼠携带。
副伤寒	沙门氏副伤寒菌等	少量的爆发是由水传染的，用足量的水可帮助洁净。
肺结核	分支杆菌	废水可能是传染途径。
野兔病	巴斯德菌	主要是由受感染的动物和类人猿传染，但水也是重要途 径。
伤寒	沙门氏伤寒菌	最主要载体是水和食物，其爆发在时间和空间分布上有一 定的模式。
病毒		
肝炎	一种可过滤的病毒， 现已分离出。	流行主要是经由水、牛奶和食物，包括牡蛎和蛤。
小儿麻痹症	小儿麻痹症病毒	实际上这仅仅是能够在废水中发现的一组 100 余种肠病 毒中一个例子而已，其他例子包括：柯萨奇病毒、艾柯 病毒、呼吸道肠道病毒、腺病毒，以及轮状病毒等。

* 此处恐有误，通常以比重为 5 作为区分是否为重金属的判断标准。

疾病	病原体	说明
肠虫类		
儿内亚蠕虫病	蛔虫, “怀孕”母虫, 1m 长, 移居到皮肤层。	北美未曾见到。感染过程包括: 幼虫经由人的皮肤进入水中, 再在甲壳类的虫子如剑水蚤的帮助下被人类摄取。
线虫类病	蛔虫、蛲虫	见于废水出水和用作肥料的干污泥中。
血吸虫病	血吸虫	适当的废水处理能使之失去活性。
绦虫病	绦虫	虫卵很难杀死。在使用废水和污泥的土地上会对牲畜构成威胁。

有毒有机物 人们非常关注废水中可能会含有有毒有机物。表 6.8 给出了一些认为是有毒的或致癌的有机物 (亦见于第三章)。

表 6.8 一些致癌物质^[6.9]

化合物	脏器	说明	
公认的致癌有机物			
4-氨基联苯	膀胱	联苯胺中的污染物。	
联苯胺	膀胱	苯胺染料、塑料和橡胶中成分。	
β -苯胺 (2-NA)	膀胱	染料和农药成分, 常接触的工人患膀胱癌的机会要比常人大 30~60 倍。	
BCME	肺	用于生产交换树脂, 常接触的工人患肺癌的机会要比常人大 7 倍。	
氯乙烯	肝	PVC 工人有可能患血管肉瘤。	
USDA-OSHA 致癌物质清单上增加部分			
α -苯胺 (1-NA)	膀胱	涉及人类致癌, 用于生产染料、除草剂、食品添色剂、彩色膜, 以及抗氧化剂。	
二甲亚胺	未知	动物致癌, 用于制造纸张和纺织品, 生产除草剂、树脂, 以及火箭和飞机的燃料。	
3, 3'-二氯苯胺	未知	动物致癌, 常与苯胺和 β -苯胺 (2-NA) 一同出现。	
CMME	未知	动物致癌。	
MOCA	未知	老鼠致癌, 皮肤吸入可能是有害的, 异氰酸酯聚合物的固化剂。	
对人类具有潜在致癌可能的工业材料			
三氧化铋产品	表氯醇	苯 (皮肤)	六甲基磷酰胺
苯并比	联氨	铍	MOCA (皮肤)
氧化镉	4, 4'-二苯氨基甲烷	氯仿	一甲基联氨
铅和锌的铬酸盐	亚硝酸胺	3, 3'-二氯苯胺	丙磺酸丙酮
氯化二甲基甲醇	β -丙内酯	1, 1'-二甲基联氨	乙烯基环己烯二酮
硫酸二甲酯			

废水污染源

将污染物带入水中的途径非常之多，从最直接方式到间接方式。举例来说，由于工业生产和生活用水把污染物引入水中通常是非常直接的，并且也是很容易被理解的。至于间接途径，情况则复杂得多，污染物的广泛性和传播机制均仍须花大气力去研究了解。一些非常复杂的污染扩散传播具有全球性特征，例如：DDT 的分布，非点源污染的迁移，以及酸雨的起源等。图 6.4 和图 6.5 示意绘出了确定污染源的复杂性。图 6.4 还同时说明了凡能够进入水源或人体的污染物一般都有可能成为废水的成分。最近才逐渐认识到一些重要的污染途径。

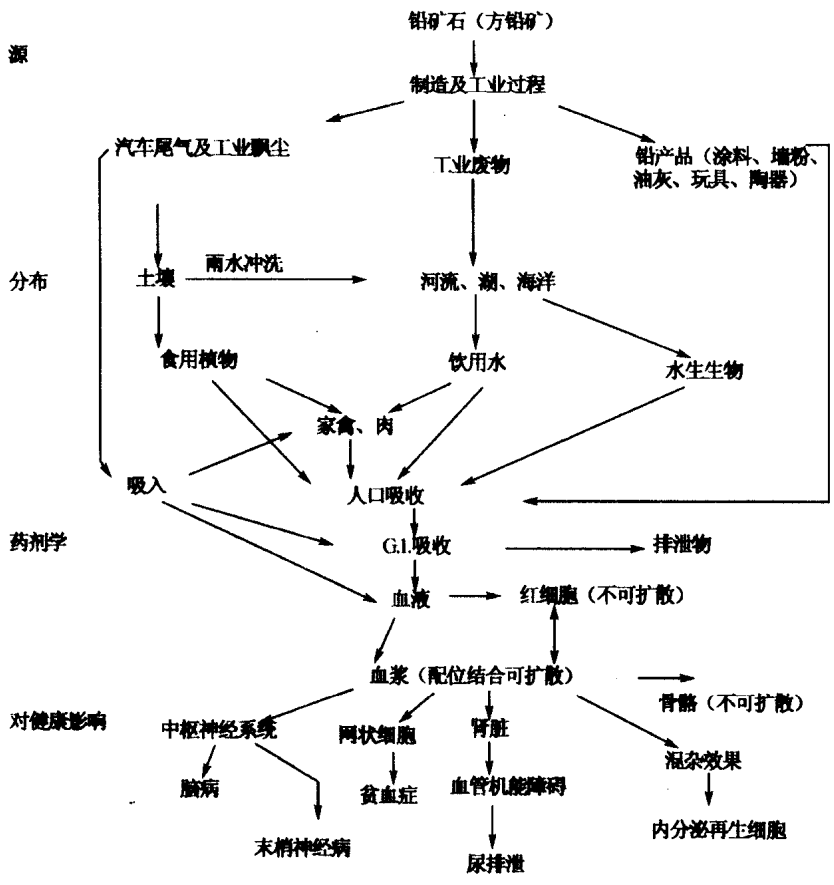


图 6.4 铅在环境中的迁移路径及与健康效应^[10]

一些被关注的各种废水成分的来源及有关信息资料见表 6.9，图 6.6 则示出不同来源的一些常见且重要的污染物（如 BOD、悬浮固体、氮和磷）的相对分布。

废水污染物的影响

污染物对于水体系的影响基本上就是所引入的污染物的量和性质的函数。例如，一小股

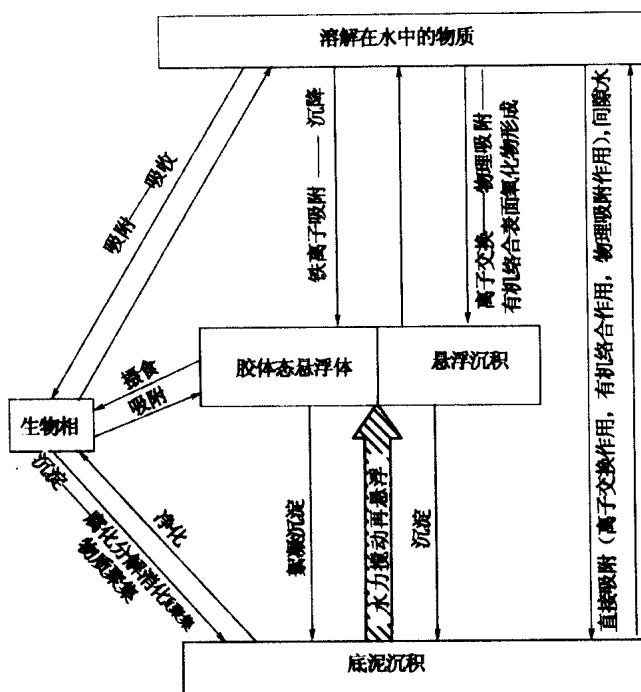


图 6.5 水圈和生物圈的传递途径^[11]

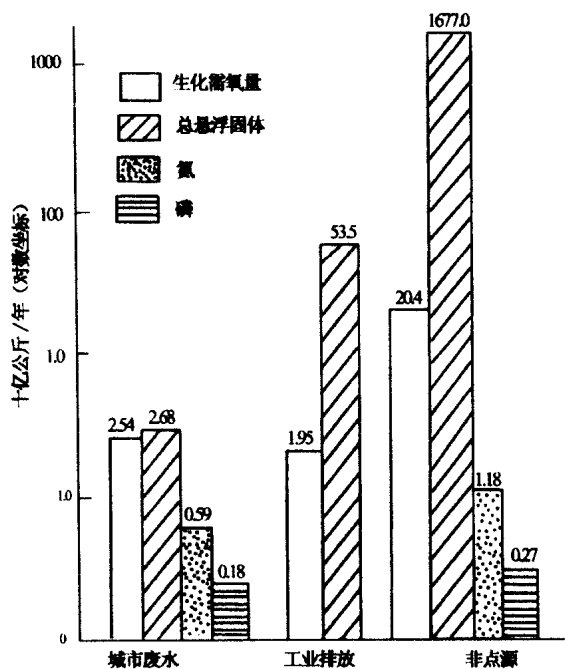


图 6.6 全美污染物量估计^[12,13]

溶解氧	水	鱼类	无脊椎动物	浮游生物
	清洁透明	正常鱼类: 游钓鱼类、 以食鱼类、食草鱼	石蛾 蜉蝣	舟形藻 同生藻 锥囊藻
	混浊黑	耐受性较强的鱼类: 鲤鱼、 牛鱼、颌针鱼、鲢科鱼	摇蚊属 黑蝇	草履虫 贝氏硫细菌 喇叭虫(属)
	腐败的, 有害气味, 有悬浮物	无	蚊 蜂蝇 颤蚓属	颤藻 球衣菌 直链藻
	水质有所改善	耐受性较强的鱼类: 鲤鱼、 牛鱼、颌针鱼、鲢科鱼	摇蚊属 黑蝇	实球藻 水绵 裸藻
	清洁透明	正常鱼类: 游钓鱼类、 泛食鱼类、食草鱼	石蛾 石蝇	舟形藻 同生藻 锥囊藻

图 6.7 河流污染和恢复^[14]

可生物降解的物质进入一个大的水体后将被迅速吸收，因而只产生很小影响或看不出影响。但是如果有大量的上述物质进入水体系影响就可能完全不一样了，比如说水体中的生物群落的构成和数量会产生很大的变化，溶解氧水平会急剧下降，等等。这些影响常常可由能量水平图表和氧下降图等描述。当可降解的污染物水平（或食物水平）较高时消化速率也较高，反之食物水平下降了或更多的能量源转化到稳定的产物中，微生物降解速率也降低。

在好氧降解食物过程中，微生物将尽其所能地利用氧，如果有机负荷与水体的吸收能力不相匹配，将会出现如图 6.7 所示的氧消耗曲线。另一个消耗水体中溶解氧的重要因素是含氮化合物（见图 6.1 和表 6.5）。在水体环境人们可以见到如图 6.8 所示的各种含氮物质之间的关系曲线。

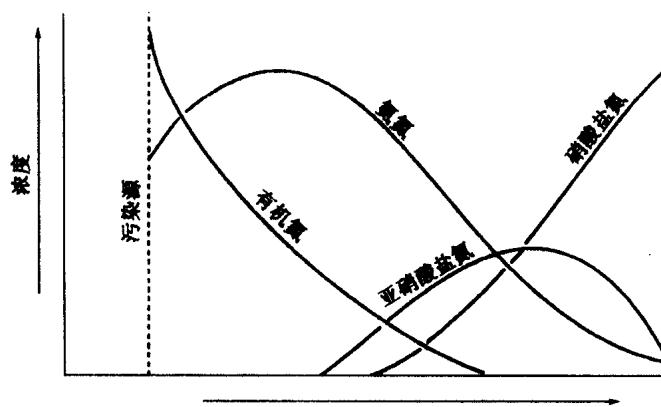


图 6.8 含氮化合物沿有机污染流向的典型反应^[8]

可降解的与有毒性的物质同样都可能对水体产生致命的影响，这可能表现在生命体种类的明显减少。基于污染物的不同，有些生命体的数量可能会增加，而另一些则会减少。图 6.7 和 6.9 显示了污染物是怎样影响生命体的水平和种类的。表 6.9 包含一些废水污染物的环境效应的重要陈述。

表 6.9 废水成分的典型来源和效应^[6]

成分	效应	典型来源
可生物氧化的，如 BOD ₅	耗氧乃至厌氧，杀死鱼类，产生异味。	大量可溶性碳水化合物：炼糖、做罐头、酿酒、制奶、制浆和造纸。
毒性物质：As, CN, Cr, Cd, Cu, F, Hg, Pb, Zn	鱼被杀死，牲畜中毒，浮游生物死亡，在鱼和软体动物体内富集。	金属清洁，电镀，酸洗，磷和矾土提炼，制氯，生产电池，制革。
酸和碱	破坏 pH 缓冲体系，扰乱生态系统。	洗煤，钢的酸洗，纺织，化学制造，洗毛，洗衣。

成分	效应	典型来源
消毒剂: Cl_2 , H_2O_2 , 福尔马林, 石炭酸	杀死部分微生物, 气味与异味。	漂白纸张和纺织品, 火箭, 树脂合成, 盘尼西林制备, 煤气、焦炭和煤焦油生产, 染料和化工制造。
离子形式: Fe, Ca, Mg, Mn, Cl, SO_4	改变水性质: 生锈, 硬度, 盐度, 结壳。	冶金, 生产水泥, 制陶, 油井抽吸。
氧化剂和还原剂: NH_3 , NO_2^- , NO_3^- , S^{2-} , SO_3^{2-}	改变化学平衡, 从快速耗尽氧到过营养化, 异味, 微生物的选择。	煤气和焦炭生产, 纺织厂, 炸药制造, 印染和合成纤维生产, 木材制浆, 漂白。
影响视觉和味觉的	泡沫, 可沉降固体, 异味, 厌氧积淀, 油污, 老鼠, 油脂, 水鸟和鱼的伤亡。	清洁剂, 制革, 食品和肉制品生产, 糖厂, 毛纺厂, 家禽屠宰, 炼油。
致病微生物: 细螺旋体, 霉菌, 病毒等	感染人体, 传染牲畜, 霉菌污染的灌溉水导致植物疾病, 影响人的视力。	屠宰场废弃物, 毛纺厂, 废物处理厂, 罐头生产废水。

废水特性

废水的特性就数量和成分来说基本上取决于废水从何而来。(美国)联邦清洁水法令将污染物定义为: 疏浚出的泥沙、固体废弃物、焚烧剩余物、废水、垃圾、污泥、化学废弃物、生物材料、放射性物质、热、毁坏或丢弃的器材设备、岩石、沙砾、地下室的脏物等, 以及排入水中的工业、农业和生活废弃物^[15]。在此定义之外, 废水亦可据其特征概括为生活废水和工业废水, 或这两者的混合物。下面分别就这两类废水讨论其一些基本特点和内容。

生活废水

生活废水是指由于人们进行清洁卫生活动所产生的废水。通常是由厨房、卫生间和洗衣店, 包括来自于盥洗间、厕所、浴室、厨房洗涤池、蔬菜水果榨汁机、洗碗机、洗衣机、软水机等处排出的水混合而成。生活废水, 顾名思义, 主要产生于生活居住区, 但也有部分产生自工矿企事业单位等由于人们清洁卫生需要所产生的废水。生活废水的描述涉及到所有废水描述的两个基本要素: 构成和流量。

构成 生活废水的构成主要是指其所含有的物理、化学和生物要素^[4]。供给社区的水一般都含有矿物质和有机物, 而人们的生活活动又加入了粪便、纸、肥皂、脏污、丢弃的食品、从软水机而来的矿物质, 以及其他物质。一部分废弃物呈悬浮状, 另外一些则进入溶液或变成非常细小的胶体^[17]。典型生活废水所含有的物理、化学和生物要素见表 6.10。

表 6.10 生活废水中物理、化学和生物成分^[16]

物理的	化学的	生物的
固体	有机物	植物
温度		动物
颜色		病毒
气味		
	无机物	
		蛋白质
		碳水化合物
		油脂
		表面活性剂
		pH
		氯化物
		碱度
		氮
		磷
		重金属
	气	氧
		硫化氢
		甲烷

物理和化学成分 生活废水中的物理和化学污染物的浓度是很不一样的，主要取决于所处地方。并且，即便是同一种成分的浓度也是时时在变，天天在变，每周在变，每月在变……因为每一天人们的活动是变化的，周末和工作日也有差异，不同的季节当然也有不同，故由此而导致生活废水的成分随时间而变化。生活废水中污染物的大致的浓度范围和平均值见表 6.11。

表 6.11 未经处理的生活废水典型成分^[4]

污染物	浓度 (mg/L, 可沉淀固体除外)	
	范围	平均
总固体	350~1 200	720
总可溶解的固体*	250~850	500
不挥发的	145~525	300
挥发的	105~325	200
总悬浮固体	100~350	220
不挥发的	20~75	55
挥发的	80~275	165
可沉淀固体, ml/L	5~20	10
5 天生化耗氧量 (BOD ₅ , 20℃)	110~400	220
总有机碳 (TOC)	80~290	160
化学耗氧量 (COD)	250~1 000	500
总氮 (N)	20~85	40
有机的	8~35	15
自由氮	12~50	25
硝酸盐和亚硝酸盐	0	0
总磷 (P)	4~15	8
有机的	1~5	3
无机的	3~10	5
氯化物*	30~100	50
碱度 (CaCO ₃)*	50~200	100
油和油脂	50~150	100

* 数值随生活供水含量增加而增加。

需要补充的是出于生活目的之用水导致了矿物质含量的增加, 这包括日常用水、私人拥有的井水、地下水, 以及软水机等^[4]。由于生活用水导致矿物质含量增加的有关数据见表 6.12。

表 6.12 生活用水导致矿物质的典型增长^[4]

成分	增长范围 ^a , mg/L
阴离子	
碳酸氢盐 (HCO_3^-)	50~100
碳酸盐 (CO_3^{2-})	0~10
氯化物 (Cl^-)	20~5 ^b
硝酸盐 (NO_3^-)	20~40
磷酸盐 (PO_4^{3-})	20~40
硫酸盐 (SO_4^{2-})	15~30
阳离子	
钙 (Ca^{2+})	15~40 ^c
镁 (Mg^{2+})	15~40 ^c
钾 (K^+)	7~15
钠 (Na^+)	40~70
其他数据	
铝 (Al)	0.1~0.2
硼 (B)	0.1~0.4
铁 (Fe)	0.2~0.4
锰 (Mn)	0.2~0.4
硅石 (SiO_2)	2~10
总碱度	100~150 ^c
总溶解固体 (TDS)	150~400

a 见于报道的全美总范围内由生活用水携入值, 不包含由工业或商业原因引入的;

b 不包含生活用水软化剂引入的;

c 按 CaCO_3 报道的。

生物学成分 生活废水中的生物学成分具有非常重要的意义, 因为与公共卫生密切相关。并且取决于这些微生物的来源和种类。许多存在于生活废水中的有机物质恰好是依赖腐烂或死去的有机物为生的一些微生物的美味。因而生活废水是不稳定的、生物可降解的和易腐烂的^[17]。

微生物还有一部分由土壤而来。因此几乎在废水中可以发现所有种类的微生物。在每毫升新鲜生活废水中约有 10^5 个细菌, 而在每毫升陈废水中则为 10^7 到 10^8 个细菌^[18]。

废水所含有的微生物中, 对环境工程师关系较大的主要是: 细菌、原生动物、真菌、藻类和病毒。无论在自然界或废水处理厂在分解和稳定有机物方面细菌都扮演了非常重要的角色。在废水中所发现的病原性有机物中, 细菌是数量最大的, 而且是诸如伤寒症、副伤寒、痢疾、腹泻和霍乱等肠道传染疾病的祸首^[4]。这些病原菌由感染或携带某种疾病的人排泄出来。鉴于废水中的病原菌很难鉴别并且很耗时间, 所以在分析废水中人类排泄物或病原性有机物时往往利用大肠菌。

原生动物吃细菌, 有利于保持不同种类微生物之间的平衡, 所以在生化处理过程和溪流

的净化过程中也是很重要的角色^[4]。真菌可以在很低的 pH 值下生存，它们在生化处理一些工业废水和堆放固体有机废弃物时可起到很大作用。藻类之所以重要，主要是因为它们在合适条件下能够极其快速地繁殖，在水面上形成茂盛的藻类覆盖层。这些藻类覆盖层不仅惹人讨厌，而且还会产生难闻的气味等，使得供水质量和价值降低。

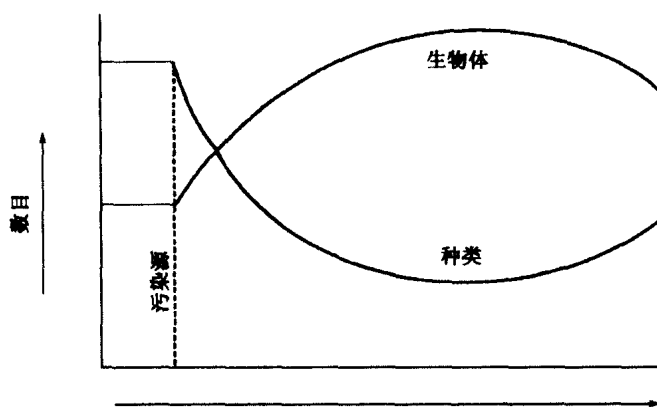


图 6.9 生物种群数量和有机物沿污染流向的变化^[8]

人们有一种日益强烈的担忧——肠道病毒可能以水作为介质传染，而人体排出的病毒可能对公共卫生构成较大的危害。目前有大量的研究旨在对废水中的病毒进行鉴别和定量测定，同时也希望搞清楚病毒在不同介质和处理设施中的迁徙和去除机制。有一个已知事实是一些病毒能够在水或废水中生存 41 天之久，而在通常江河水环境中生存 6 天。已经有许多次传染性肝炎的爆发被追踪溯源到病毒通过给水渠道的转移^[4]。

流量描述 因为生活废水是生活过程所产生的“副产品”，给定地区废水的产生量决定于该地区所居住的人口以及每个人产生的废水量，故有两个重要因素是在估算该地区平均废水流量时必须加以考虑的：人口和每个人废水贡献。而且在建立废水流量模型时必须考虑到废水流量随时间的波动。这些因素对于建立废水的收集与处理的设计基础至关重要。

供水记录 为确定一个现存的废水系统的流量参数，我们建议既要直接现场测量又要查阅有关记录。对于新的系统没有记录可查，那么供水记录可作参考。在利用用水记录时我们须注意有一部分水是真的被“用掉了”，因此供水与排水之间会有一差额。所谓用掉了主要包括水的损耗、蒸发以及其他一些原因导致的损失等。最典型的情况包括渗漏、街道清洗、草坪浇灌、救火等，工业上的例如饲养、冷凝以及做罐头等^[17]。据研究约有 30% 的水属于被“用掉了”，另 70% 则作为生活废水被排入下水道^[4]。

由 1970 美国地理调查所作出的更为详尽的研究表明，在美国公共供水中平均每人每天约消耗 166 加仑或 628 升水^[22]。该研究报道了 50 个州各社区体系的有关数据，发现差异非常大，有很多因素影响到用水量，比如：地理位置、气候、社区规模、工业化程度以及一些其他原因。该研究表明须努力获得和分析一特定的地区有关数据，而不能仅满足于引用平均值。

人均废水流量 利用上述数据可以得到平均每人废水流量为 440L/天。但是正如所指出的，没有一个所谓平均是可以适用于所有社区的。差异不仅仅产生于地理位置、气候和社区

规模，而且还与下列因素有关：(1) 生活水平；(2) 水价；(3) 水质；(4) 渗透；(5) 分布系统压力；(6) 量度；(7) 系统管理^[17]。考虑到上述因素后人均废水流量约在 285~475 L/天^[20]。

根据历史记录可以很清楚地看出家庭用水的上升趋势和相应的人均废水产生量的增加。现代家用器具，例如垃圾粉碎机、洗碗机、洗衣机以及日益普及的家用软水机都是产生这种趋势的主要原因。家用水的持续增加趋势将取决于以下因素：特定社区增加供水的能力，生活方式的变化和生活水平的提高，甚至一些新的家用耗水用具的开发。目前所用的各种家用器具的典型耗水量列于表 6.13。家庭产生废水大致比例为：洗澡和洗脸占 35%，厕所占 30%，洗衣服占 20%，厨房占 15%^[23]。

表 6.13 各种家用器具耗水典型数据^[4,42]

家用器具	耗水范围	
	SI 单位	美国习惯单位
自动家用洗衣机	110~200L/次	29~53gal/次
自动家用洗碗机	15~30L/次	4~8gal/次
自动家用清洗机	130~200L/次	34~53gal/次
浴缸	90~110L/次	24~29gal/次
连续流饮水机	4~5L/min	1gal/min
商用传送型洗碗机 [*] ，100kN/m ²	15~25L/min	4~7gal/min
商用非传送型洗碗机 [*] ，100kN/m ²	25~35L/min	7~9gal/min
灭火器，38mm，13-mm 喷嘴，20-m 水头	140~160L/min	37~42gal/min
垃圾处理器，家用型	6000~7500L/周	1600~2000gal/周
垃圾粉碎机，家用型	4~8L/人·天	1~2gal/人·天
园艺喷管，16mm，8-m 水头	10~12L/min	3gal/min
园艺喷管，19mm，8-m 水头	16~20L/min	4~5gal/min
草坪浇灌装置	6~8L/min	2gal/min
草坪浇灌装置，280m ² 草坪，25min/周	6000~7500L/周	1600~2000gal/周
喷头，16mm，8-m 水头	90~110L/次	24~29gal/次
脸盆	4~8L/次	1~2gal/次
厕所，冲洗阀，170kN/m ²	90~110L/次	24~29gal/次
厕所，罐式	15~25L/次	4~7gal/次

^{*} 没计入填充缸所用的水。

如上面讨论的，一些社区的商业和工业机构对生活废水的总量也有贡献。鉴于直接的流量记录不可获得且直接测量亦难以办到，故需利用其他办法去估算这部分贡献。一些机构有住房，例如旅馆、汽车旅馆，以及一些其他出租房屋等，那么估算可基于住房的数量。至于餐馆，可以根据顾客数或售卖的食品份数。另外一个经常用到的方法是根据有关的水管设施和数量来估算废水产生量。特定类型机构的废水估算导致产生了表 6.14，该表提供了各种商业机构典型生活废水平均贡献。