



## 5.1 水体污染概述

### 5.1.1 水体污染

#### (1) 水体污染

水体污染：排入水体的污染物，在数量上超过该物质在水体中的本底含量、也超过水体的环境容量，从而导致水体的物理、化学、微生物性质发生变化，使得水体固有的生态系统被破坏，水体失去原有功能。

本底含量：水体中某种物质原有的浓度。

环境容量：在满足水环境质量标准的条件下，水体所能接纳的最大允许污染物负荷量，称水体环境容量或水体纳污能力。

水体自净：污染物排入水体后，经过水体本身的稀释、挥发、沉淀等物理作用，及吸附、凝聚、中和等化学或物理化学作用，以及生物降解作用，使排入水体的污染物质浓度降低，水体逐渐恢复到原来的平衡状态。这一过程就是水体自净。



污染来源：农业生产、工业生产、城市生活、矿业开采、旅游活动

点源污染（城市污水、工业废水、可收集初期雨水），

非点源污染（化肥、农药、不可收集初期雨水）。

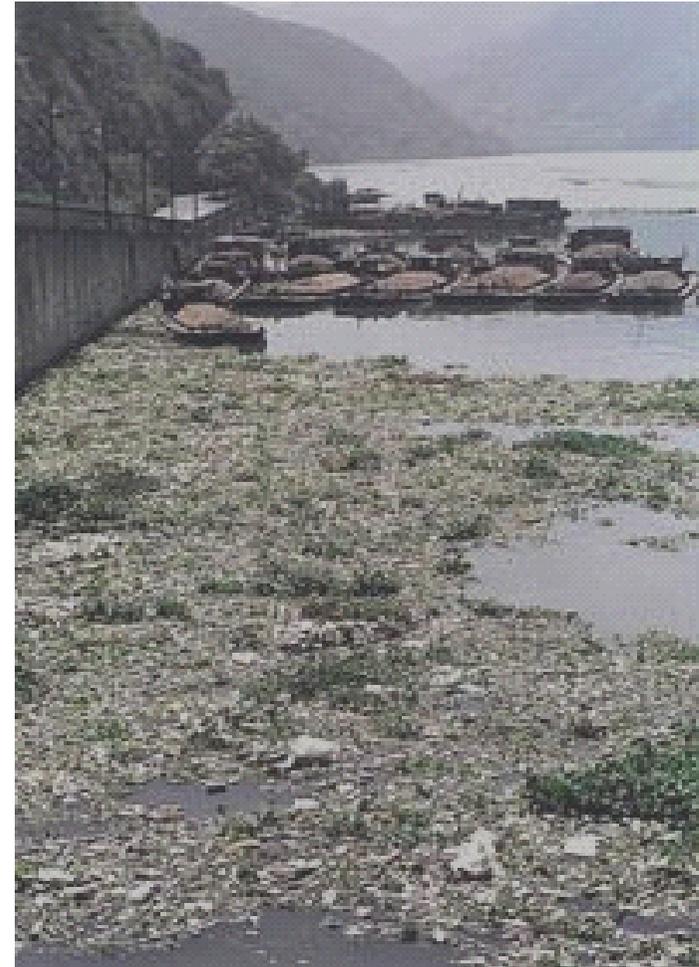
污染物质：COD、BOD、SS、三氮、P、硬度、矿化度、铁、挥发酚、氰化物、

六价铬及汞等有毒有害物质。

目前中国80%的水域、45%的地下水受到污染。主要是因为大量污水未经处理便直接排放于河流湖泊。

管理上是先污染、再治理——很不科学







云南香格里拉碧洁天池的水环境





松花江污染情况



城镇周围的河流污染



## (2) 全国地表水资源质量现状

河流污染：主要呈现为有机污染，氨氮、 $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 、BOD和挥发酚等。

《2003中国水资源质量年报》符合和优于III类水的河长占总评价河长的比例全年、汛期、非汛期分别为62.6%、61.8%、62.4%，水质劣于III类的全年、汛期、非汛期分别为37.4%、38.2%、37.6%，其中污染极严重的劣于V类水河长全年、汛期、非汛期分别为20.7%、17.4%、21.5%。

湖库污染：主要超标项目为TP、TN和COD。

2003年对全国360个湖泊、水库的评价结果，湖泊污染重于水库。重点评价湖泊52个，水质达到III类以上的湖泊有21个，5个湖泊部分水体受到污染，26个湖泊水污染严重。中营养状态和富营养状态湖泊各占50%；重点评价308座主要水库，水质优于和符合III类水的水库有230座，占评价水库总数的75%，水质未达到III类水的水库有78座，占评价水库总数的25%。



### (3) 全国地下水资源质量现状

污染程度——北方重于南方，华北最突出；

污染元素——“三氮”污染突出，矿化度和总硬度污染主要分布在东北、华北、西北和西南地区，铁和锰污染主要分布在南方；

从变化趋势看，城市地下水水质趋于稳定或污染略有减轻。

- ①以城市生活排污污染为主，造成地下水总硬度、硝酸盐、总溶解固体等严重超标，氯化物、硫酸盐、氨氮、亚硝酸盐等逐年增长或超标；
- ②城市工业污染对地下水影响的主要指标是挥发酚、氰化物、六价铬及汞等有毒有害物质；
- ③酸雨污染，重工业城市地下水的新污染源，受其影响，pH下降，常量组分污染加重；
- ④沿海城市海水（咸水）入侵，地下水中氯离子含量成倍增长；
- ⑤农药、化肥以及未经处理的污水农灌造成严重的地下水污染。



## 5.1.2 水体污染的类型

### (1) 水体污染的原因

水体污染的原因分为：自然污染、人为污染。

① 自然污染是自然因素所造成。地质化学条件（成分）特殊，物质溶于水。

② 人为污染是人为因素造成。污水排放、污染物散落、污染进入水体。



## (2) 水体污染的类型

①物理性污染。水的颜色、浑浊度、温度、悬浮物等产生变化。

着色——有色污染物进入水体，或无色的产生化学反应为有色物质；

浑浊度加大——悬浮及胶体状态的杂质引起了透光性的变化；

温度的升高——即热污染，有毒物质毒性加强，DO↓，水体处于缺氧、厌氧状态；

地下水热污染——水中物理化学作用加强，可加剧污染物的转化；

悬浮物污染物——降低光的穿透性，影响水体的自净功能；水中悬浮物又可能是各种污染物的载体，吸附其他污染物在水中迁移。

②致病微生物污染。常见的有：传染性肝炎病毒、小儿麻痹症病毒等。

生活污水、医院污水、垃圾和地面径流等，危害健康。

③有机物污染。不稳定→稳定转化。耗氧，厌氧，中间产物致癌、致畸和致突变。



④氮、磷等植物营养物污染。水体接纳氮、磷、有机碳等，引起的藻类等浮游生物急剧增殖。叫做水体的“富营养化”。

富营养化后，由贫营养湖→富营养湖→沼泽→干地，但速率很慢。

在海洋水面上发生称“赤潮”。在陆地水体中发生称“水华”。在地下水中发生称该地下水为“肥水”。

一般认为，总磷和无机氮含量分别在 $20\text{mg}/\text{m}_3$ 和 $300\text{mg}/\text{m}_3$ 以上，就有可能出现水体富营养化过程。

富营养化危害包括：水恶臭，影响观感；作为原水使用时，引起滤池堵塞、产生异臭味；造成水中鱼类窒息死亡；造成水中有机物含量增高，溶解氧浓度降低，同时未分解的有机物在水体底部积蓄，发生厌氧分解。

⑤酸、碱和无机盐污染。主要来自冶金、化学纤维、造纸、印染、炼油、等工业废水及酸雨，pH值发生变化，抑制微生物生长，妨碍水体自净。



⑥毒性物质污染。对生物有机体直接产生毒害。

难降解有机物、农药、多环有机化合物、有机氮化合物、有机重金属化合物、合成洗涤剂等，重金属有汞、镉、铅、铬、钒、钴、钡等。

⑦石油污染及危害。油花覆盖水面， $DO \downarrow$ ，发臭。

形成油膜，影响光合作用，使海兽、海鸟失去游泳和飞行的能力；窒息死亡；景区价值；含有毒物质如苯并芘、苯并蒽等。

当前，石油对海洋的污染，已成为世界性的严重问题。油田周边环境污染也是。

⑧放射性污染。放射性污染进入水体，通过自身的衰变而放射出  $\alpha$ 、 $\beta$  或  $\gamma$  射线，使生物及人体组织电离而受到损伤，引起放射病。

水中放射性污染源主要有：地下水流经放射性矿产生放射性元素的溶滤；核工业的废水、废气和废渣；放射性同位素的生产和其他工业中的放射性废水和废弃物。



### 5.1.3 水体污染的特征

污染物进入水体后，存在两个相互关联的过程：

一是水体污染物浓度与种类的增加，导致水体水质恶化的过程；

另一个是水体对污染物的净化、降低其浓度或减少其种类的过程。

两个过程几乎同时发生，在相互消长的过程中，形成特定时刻的水体水质。

①保守物质进入水体后，随着水流的运动迁移、向周围扩散降低其初始浓度，但总量不变。量积累——污染滞后——后果不可预测。重金属及很多高分子有机化合物都属于保守物质。

②非保守物质进入水体后，水体自净的多种作用同时发生，量减少——污染迅速。



## (1) 水体污染恶化过程

水体污染恶化过程包括以下四个过程：

①溶解氧下降过程。好氧细菌作用—— $DO \downarrow$ ，威胁水生生物生存，底部多为厌氧条件，底泥中的有机物在厌氧细菌的作用下产生硫化氢、甲烷等还原性气体，水质恶臭。

②水生生态平衡破坏过程。由于 $DO \downarrow$ ，营养物质增多，使耐污、耐毒、喜肥的低等水生动物、植物大量繁殖，而鱼类等高等水生生物迁移、死亡，当水体中溶解氧低于 $3\text{mg/L}$ 时，就会引起鱼类窒息死亡，如鲤鱼要求溶解氧为 $6\sim 8\text{mg/L}$ ，青鱼、草鱼、鲢鱼等均要求溶解氧保持在 $5\text{mg/L}$ 以上。

③低毒变高毒过程。由于水体中 $\text{pH}$ 值、氧化还原、有机负荷等条件的改变多使低毒化合物转化为高毒化合物，如三价铬、五价砷、无机汞可转化为毒性更强的六价铬、三价砷、甲基汞。

④低浓度向高浓度转化过程。由于物理堆积（底泥）和生物富集（食物链）作用，使低浓度向高浓度转化。



## (2) 水体自净过程

水体自净：污染物排入水体后，经过水体本身的稀释、挥发、沉淀等物理作用，及吸附、凝聚、中和等化学或物理化学作用，以及生物降解作用，使排入水体的污染物质浓度降低，水体逐渐恢复到原来的平衡状态。这一过程就是水体自净。

净化能力 + 环境容量 决定 可以自净或不可自净。实际上自净过程一直在发生，只是时间长短罢了。

自净过程中存在4种作用：物理作用（稀释、扩散、沉淀、挥发）

化学作用（中和、化合分解、氧化还原）

物化作用（吸附、凝聚）

生化作用（水生生物、微生物代谢）

具体哪个起主要作用，要看污染方式及污染物存在形态。水体修复才能对症下药。



## 5.1.4 水体污染物、污染源及污染途径

### (1) 污染物

- ①有机性污染物：消耗DO——缺氧环境——厌氧环境，导致恶臭、发黑，功能下降。
- ②营养盐类污染物：氮磷等营养盐类，引起富营养化。
- ③化学毒物污染物：非金属无机毒物(CN、F、S等)；  
重金属与类金属无机毒物，硒(Se)、砷(As)、汞、镉(Cd)、铬(Cr)、铅；  
可生物降解的有机毒物(挥发酚、醛、苯等)；  
难降解有机毒物(DDT、六六六、狄氏剂、多氯联苯、多环芳烃、芳香胺等)。
- ④石油污染物：矿物油，石油开采加工。



⑤放射性污染物

衰变放射 $\alpha$ 、 $\beta$ 或 $\gamma$ 射线，采矿、选矿、冶炼、核工业。

⑥致病性微生物污染物

病毒病原菌。

⑦微量污染物

主要包括氰化物、苯和多环芳烃PAH（Polycyclic Aromatic Hydrocarbon）、有机氯化物和THM（三卤甲烷，Trihalomethane）等。

⑧感官污染物

引起不悦。

⑨酸碱污染物

pH变化。



## (2) 水体污染源

向水体排放或释放污染物的来源或场所称为水体污染源。分为：点源和非点源。

### ①点源（point source）

点源——指集中产生、并有可能通过下水道集中排入水体的污染源。

集中从排污口排入水体，包括工业、生活污染源。

### ②非点源（nonpoint source）

非点源——指非集中产生、不可能集中排入水体的污染源，是一种分散的污染源，污染物来源于大范围或大面积。

来源比较广泛，主要指城市和农村地表径流，包括随径流带来的沉积物、营养盐、耗氧废物、病原体以及毒性物质（如农药和重金属）。

是影响水质的最主要污染源。是全世界最关注、重视的难题。

一般来说，点源污染重在枯水期，而非点源污染重在降水期特别是暴雨期间。

目前，我们重点抓了点源污染物治理，而非点源污染开始时并不为人们重视。



### (3) 污染负荷

污染负荷量 (Pollutant load) ——单位污染源 (污染物) 产生的污染物量。

#### ①生活污水的污染负荷量

每人每天的污染物发生量 (单位负荷量)。g/人·d。如表5.1.4所示。

#### ②工业废水的污染负荷量

一般可表示为单位产量 (或单位产值) 的污染物发生量。g/万元、g/单位产品。

#### ③家畜排水的污染负荷量

计算原理与生活污水的污染负荷量计算相同

#### ④其它人为的污染负荷量

屠宰场、医院、大型洗染店等排出的污染源, 计算与工业相似。

#### ⑤自然污染负荷量

山区、林地、农田等产生的自然污染负荷, 属非点源, 一般很难专门治理。根据国外的经验, 自然污染的单位负荷量按0.5~1.0 kg/d·km<sup>2</sup>来计算。

#### ⑥入河污染负荷量

计算水体整体污染负荷量时, 上述并非100%都排入水体, 必须考虑排放系数。根据国外的研究, 在农村区域排放系数往往较低, 仅为0~0.2; 在城市周边地区为0.1~0.6, 中心区为0.6~1.0; 通过下水道等排水设施直接排放时, 排放系数则为1.0。



## (4) 水体污染途径

### ① 地表水污染

地表水污染主要是人类生产和生活活动造成的。

生活污水

工业废水

初期雨水

有点源、也有非点源。

### ② 地下水污染

生活污染源、工业污染源和农业污染源。

生活垃圾

工业废料

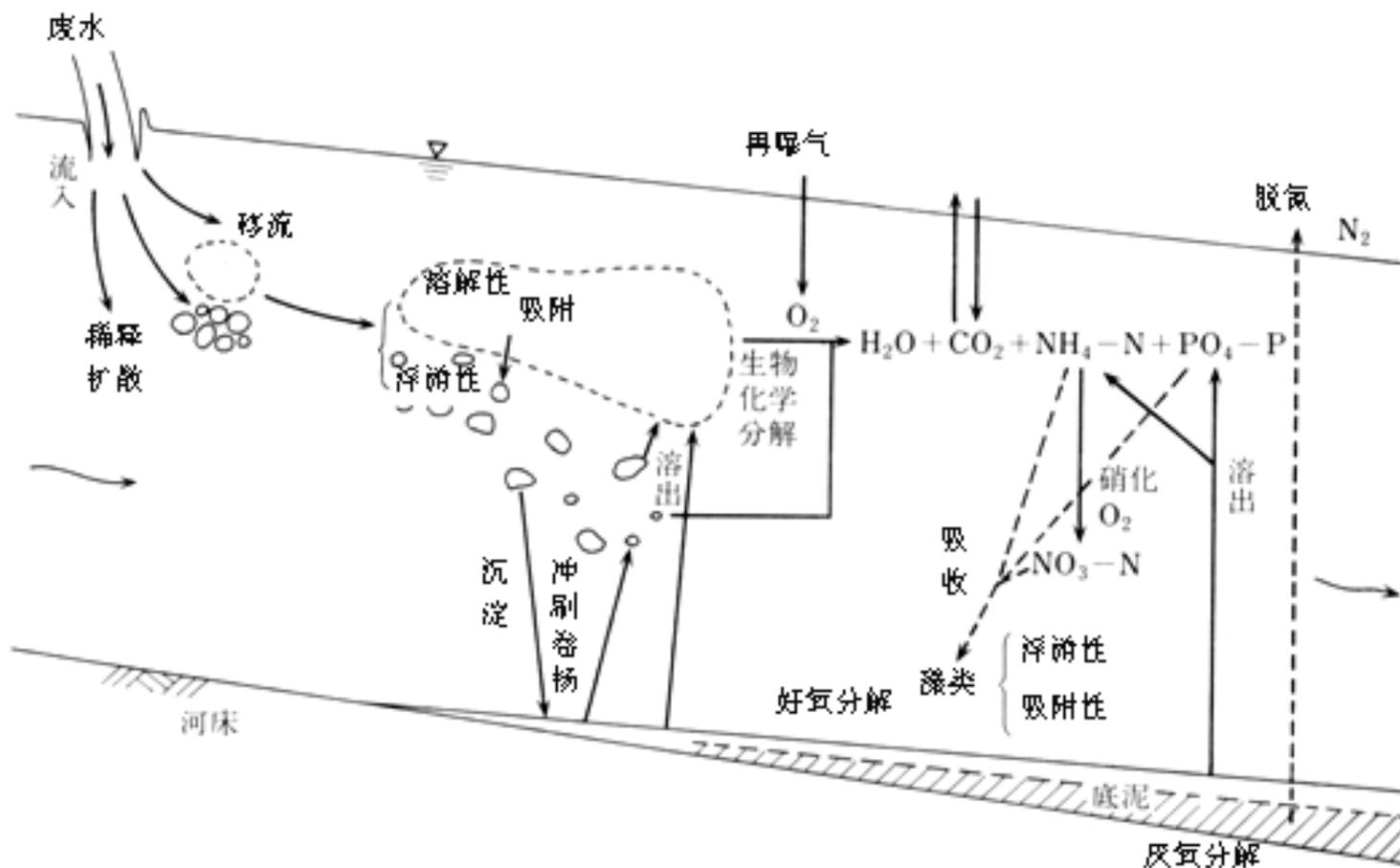
化肥、采矿废渣尾料

属非点源。



### 5.1.5 污染物在水体中的迁移转化规律

污染物进入水体后，在水体自净的作用下，污染物将会减少。



河流自净作用的主要现象



## (1) 物理作用

通过稀释、扩散、混合、挥发、沉淀等，稀释最重要。

混合——污水与水体混合，效果依赖混合系数。

$$\alpha = \frac{Q_{混}}{Q_{总}}$$

一般考虑1.0，有时小于1.0。混合后浓度加权平均计算如下式：

$$C = \frac{C_w \cdot q + C_R \cdot \alpha \cdot Q}{q + \alpha \cdot Q}$$

沉淀——污水进入河流，由于流速降低，部分悬浮物可以沉淀至河床底泥中，从而去除。但可能二次污染。

挥发——由于气液接触界面变化，一些挥发性污染物转移至大气中。这属于污染转移，可能带来二次污染。



## (2) 化学作用

中和——天然水体pH5~8，有些与水体中的物质发生中和反应，调整酸碱度，产生沉淀。

化合分解——污染物与水体中的某些物质发生化合或分解反应，形成非污染物质。

氧化还原——水体中的 $O_2$ 与还原性污染物反应，污染物转化或沉淀。还原反应多发生在底泥厌氧条件下，靠微生物作用完成。

## (3) 物化作用

主要是吸附及凝聚：污水或水体中的胶体之间由于电中和、脱稳、凝聚。



### (4) 生化作用

污染物（有机物）进入水体，水中的微生物以其为基质进行新陈代谢，使之由不稳定的物质转化为稳定的无机物。好氧及厌氧均有可能。

代表物质	变化趋势	原因	称谓
有机物浓度	高      低	溶解氧，微生物	降解过程
水中溶解氧	高      低	有机物，微生物	耗氧过程
同时溶解氧	低 $\longrightarrow$ 高	溶解氧不饱和程度	复氧过程

#### ① 有机物降解（耗氧）动力学——降解（耗氧）过程

1925年美国学者费尔普斯（Streeter-Phelps）研究了河流中有机物降解与耗氧过程，认为河流中有机物降解（耗氧）速率与残余有机物的量成正比，呈一级反应。而与微生物量无关，即微生物是充足的、 $O_2$ 是充足的。



反应速度:  $V=K[L][C]$ , 当[C]充足时,  $V'=K'[L]$

有机物降解速率:  $\frac{dL}{dt} = K_1 L$  ,

积分:  $\ln L = -K_1 t + c$  ,  $L_t = e^{-K_1 t} \cdot e^c$  ,

代入边界条件t=0时,  $L=L_0$ , 得:  $e^c = L_0$

$\therefore L_t = L_0 \cdot e^{-K_1 t} = L_0 \cdot 10^{-k_1 t}$

$X_t = L_0 - L_t$

$L_0$ ——起始时有机物总量,  $(BOD)_{t=0}$ , 氧化全部有机物的需氧量;

$L_t$ ——t时刻, 水中残余的实际有机物量,  $(BOD)_t$ ;

$X_t$ ——t时刻, 已经降解的有机物量, BOD;

t——生物反应时间, 天, d;

$k_1, K_1$ ——耗氧速率常数,  $k_1=0.434K_1$ , 生活污水的 $k_1$ 见(排水p39表2-4)。



【例题】已知排放点处有机物浓度为BOD<sub>200</sub>mg/l,  $k_1=0.12$ , 问4天、9天后有机物降解了多少, 溶解氧消耗了多少?

【解】代入公式:

$$L_f = L_0 \cdot e^{-K_1 t} = L_0 \cdot 10^{-k_1 t}$$

$$X_f = L_0 - L_f$$

计算过程略。

说明: 式中L、X等, 若从有机物角度出发, 用BOD、BOD<sub>20</sub>、BOD<sub>u</sub>均可, 只要求单位统一;

若从溶解氧角度出发, 则需要折算成BOD<sub>u</sub>, 即全氧量。



## ② 溶解氧恢复动力学——复氧过程

饱和溶解氧浓度  $C_0$ : 一定温度和压力下, 1升水中最大溶解氧含量, mg/l。

亏氧量  $D$ : 饱和溶解氧与实际溶解氧的差值,  $D=C_0-C$ , mg/l。

传质原理: 一定压力和温度下, 氧溶于水中的速率与水中的亏氧量成正比。

$$\frac{dC}{dt} = K_2 D \xrightarrow{D=C_0-C, dC=-dD} \frac{dD}{dt} = -K_2 D$$

积分并代入边界条件:  $t=0$ 、 $D=D_0$ , 得:

$$D_t = D_0 \cdot e^{-K_2 t} = D_0 \cdot 10^{-k_2 t}$$

$$X_t = D_0 - D_t$$

$D_0$ ——起始时亏氧量,  $D_0=C_0-C_{t=0}$ ;

$D_t$ —— $t$ 时刻, 水中实际亏氧量,  $D_t=C_0-C_t$ ;

$X_t$ —— $t$ 时刻, 已经恢复的溶解氧量,  $X_t=D_0-D_t$ ;

$t$ ——生物反应时间, 天, d;

$k_2, K_2$ ——复氧速率常数,  $k_2=0.434K_2$ , 与水文、水温条件有关, 常见数据见(排水p39表2-5)。



### ③ 水体自净规律动力学

①②是将生物降解（耗氧）过程、溶氧（复氧）过程单独考虑列出的动力学关系式，实际上当污水排入水体后，有机物降解、溶解氧消耗、复氧是同时进行的，而且它们之间有着定量的关系。

在t时刻，水体的耗氧速率：
$$\frac{dC}{dt} = \frac{dL}{dt} = K_1L$$

水体的溶氧速率：
$$\frac{dC}{dt} = K_2D$$

水体的亏氧速率：
$$\frac{dD}{dt}$$

理论上，亏氧速率 = 耗氧速率 - 溶氧速率，即：
$$\frac{dD}{dt} = K_1L - K_2D$$

变化为，
$$\frac{dD}{dt} + K_2D = K_1L$$
 这是一个一阶线性微分方程



方程求解:

$$\begin{aligned}
 D_t &= e^{-\int K_2 dt} \left[ \int K_1 L_t \cdot e^{\int K_2 dt} dt + c \right] \\
 &= e^{-K_2 t} \left( \int K_1 L_0 e^{-K_1 t} \cdot e^{K_2 t} dt + c \right) \\
 &= e^{-K_2 t} \left( \frac{L_0 K_1}{K_2 - K_1} e^{(K_2 - K_1)t} + c \right)
 \end{aligned}$$

∴ 当t=0时,  $D_t=D_0$ , 得:  $c = D_0 - \frac{K_1}{K_2 - K_1} L_0$

∴  $D_t = \frac{k_1}{k_2 - k_1} L_0 (10^{-k_1 t} - 10^{-k_2 t}) + D_0 10^{-k_2 t}$  (p118,5.1.10)

$D_t$ ——t时刻, 水中实际亏氧量,  $D_t=C_0-C_t$ ;

$D_0$ ——起始时亏氧量,  $D_0=C_0-C_{t=0}$ ;

$L_0$ ——起始时有机物总量,  $(BOD)_{t=0}$ , 氧化全部有机物的需氧量;

t——生物反应时间, 天, d;

$k_1, K_1$ ——耗氧速率常数,  $k_1=0.434K_1$ , 生活污水的k1见(排水p39表2-4)。

$k_2, K_2$ ——复氧速率常数,  $k_2=0.434K_2$ , 与水文、水温条件有关, 数据见(排水工程p39表2-5)。



说明:

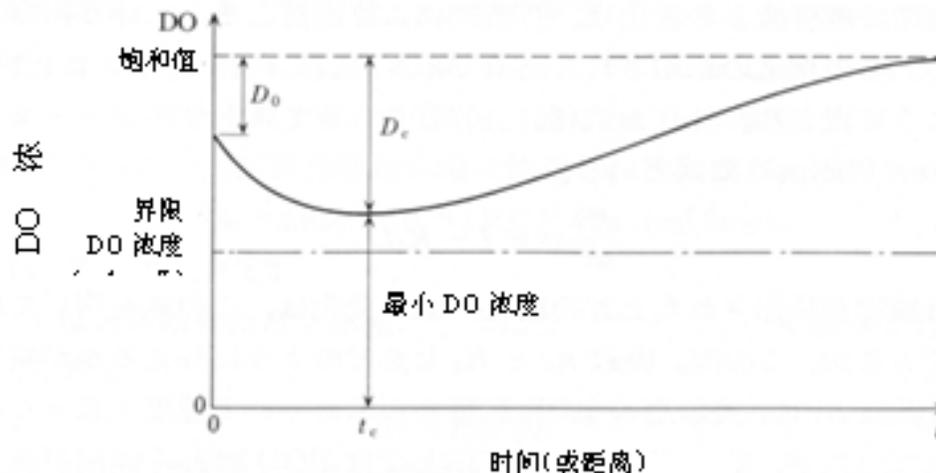
- I 只耗氧不溶氧时,  $k_2=0$ , 上式变成  $L_t = L_0 \cdot e^{-k_1 t} = L_0 \cdot 10^{-k_1 t}$ , 特殊情况①;  
只溶氧不耗氧时,  $k_1=0$ , 上式变成  $D_t = D_0 \cdot e^{-k_2 t} = D_0 \cdot 10^{-k_2 t}$ , 特殊情况②。
- II 公式描述了  $D_t \sim f(t)$  函数关系,

称为亏氧曲线;

$X=C_0-D_t \sim f(t)$  函数关系,

称为氧垂曲线。

(p119,图)



III 临界点概念: 最缺氧点……, 一般情况下临界点的溶解氧浓度  $\leq 4\text{mg/l}$ ;

IV 求临界点, 由  $\frac{dD_t}{dt} = 0$  得

$$t_{\text{临}} = \frac{1}{k_2 - k_1} \lg \left\{ \frac{k_2}{k_1} \left[ 1 - \frac{D_0}{L_0} \left( \frac{k_2 - k_1}{k_1} \right) \right] \right\} \quad (\text{p119,5.1.14})$$

V  $t_c$ 处的溶解氧浓度低于水体要求的溶解氧时, 所排污水应该处理。



## 水体自净规律的应用

### ——确定可排污水的污染物浓度上限值（确定地方标准）

前面推导水体自净动力学公式（溶解氧变化规律公式），其目的是：由水体的自净能力、排放污水的浓度、国家对水体中有机物或溶解氧的要求量确定所排放污水的允许浓度，继而确定处理程度。

#### (1) 污水的处理程度概念

$$E = \frac{C_i - C}{C_i} \times 100\%$$

#### (2) 控制指标和计算数据

##### ① 控制指标

- ◇ 水体（河流）中有毒物质允许最大值，见《地面水环境质量标准》GB3838-2002;
- ◇ 一般水体溶解氧浓度不得小于4mg/l;
- ◇ 一般情况下，取水点处有机物浓度BOD不得大于4mg/l。

##### ② 数据选定

- ◇ 生活污水用平均流量，有毒物用最大流量;
- ◇ 水中溶解氧浓度用夏季昼夜平均值;
- ◇ 河水流量Q，用20年一遇的最早月平均流量，保证率95%。



### (3) 设计计算方法

① 只考虑水体的稀释作用（计算无机物处理程度）

$$\alpha Q C_1 + q C_2 = (\alpha Q + q) C_m$$

$$C_2 = C_m \left( \frac{\alpha Q}{q} + 1 \right) - \frac{\alpha Q}{q} C_1$$

$$E = \frac{C_i - C_2}{C_i} \times 100\%$$

式中， $C_1$ ——水体原有的污染物浓度；

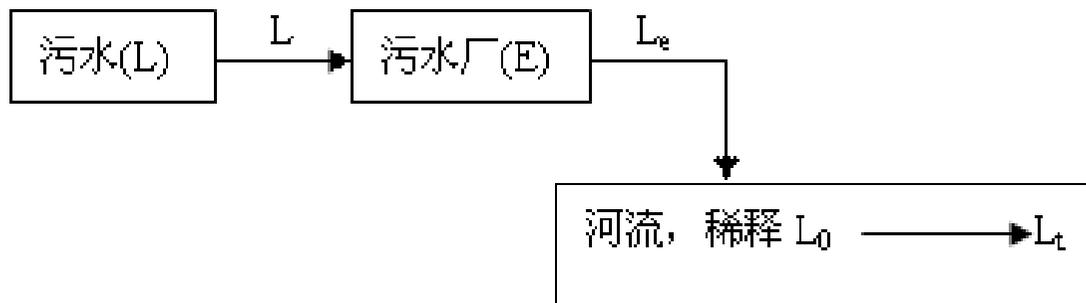
$C_m$ ——《地面水环境质量标准》GB3838中规定的允许最高值；

$C_2$ ——排放污水中污染物浓度的最高值。



## ② 稀释与生化作用同时考虑（计算有机物处理程度）

虽然稀释与生化是同时开始的，但是稀释较快、生化较慢，为简化计算，认为稀释在前、生化在后，如下图。



约束条件： $DO$  临界  $\geq 4\text{mg/l}$ ;  
 $L$ 取水点  $\leq 4\text{mg/l}$ ;

两个约束条件可以确定两个 $L_e$ ，即两个处理程度，选择 $E$ 较大者进行处理。



1) 按下游取水点处  $L_{\text{取水点}} \leq 4\text{mg/l}$  计算步骤如下:

a. 计算降解（流动）时间:  $t = \frac{l}{v}$  (天);

b. 计算稀释后的BOD值: 利用公式  $L_{t(\text{BOD})} = L_{0(\text{BOD})} \cdot 10^{-kt}$

倒推降解前BOD浓度（即为稀释后的BOD浓度） $L_{0(\text{BOD})} = L_{t(\text{BOD})} \cdot 10^{kt}$

c. 计算稀释前污水中允许BOD值: 利用稀释公式

$$\alpha Q C_1 + q C_2 = (\alpha Q + q) C_m$$

$$L_e = C_m \left( \frac{\alpha Q}{q} + 1 \right) - \frac{\alpha Q}{q} C_1 = 4 \left( \frac{\alpha Q}{q} + 1 \right) - \frac{\alpha Q}{q} L_0$$

d. 计算  $E_1$ :  $E_1 = \frac{L_{\text{原水BOD}} - L_e}{L_{\text{原水BOD}}} \times 100\%$



2) 按临界点处  $DO_{\text{临界}} \geq 4\text{mg/l}$  计算步骤如下:

a. 求临界点发生的时间  $t_{\text{临界}}$ :

$$\left\{ \begin{aligned} t_{\text{临界}} &= \frac{1}{k_2 - k_1} \lg \left\{ \frac{k_2}{k_1} \left[ 1 - \frac{D_0}{L_0} \left( \frac{k_2 - k_1}{k_1} \right) \right] \right\} & (1) \\ C_{\text{饱和}} - D_{\text{临界}} &\geq 4 & (2) \\ D_{\text{临界}} &= \frac{k_1}{k_2} L_0 \cdot 10^{-k_2 t_{\text{临界}}} & (3) \end{aligned} \right.$$

其中,  $k_1$ 、 $k_2$ 、 $C_{\text{饱和}}$  查设计手册可得,  $D_0$  按混合公式求得, 此方程组无法直接求得  $L_0$ , 一般用试算法,  $t_{\text{临界}}$  大概在 1~3 天内取值试算。

取  $t_1=1$  天, 代  $t_1$  入 (1) 计算  $L_{01}$ , 代  $L_{01}$  入 (2) (3) 计算  $t_2$ ;

代  $t_2$  入 (1) 计算  $L_{02}$ , 代  $L_{02}$  入 (2) (3) 计算  $t_3$ ;

..... ,

到相邻  $t$  值差  $\leq 0.001$  即为  $t_{\text{临界}}$ 。同时得到混合后的  $L_0(BOD_u)$ 。



b. 利用降解公式  $L_t = L_0 \cdot e^{-K_1 t} = L_0 \cdot 10^{-k_1 t}$  将BOD<sub>u</sub>折算成BOD<sub>5</sub>,  
 即混合后的BOD,  $BOD = BOD_u \cdot 10^{-k_1 \cdot 5}$  ;

c. 计算稀释前污水中允许BOD值: 利用稀释公式

$$\alpha Q C_1 + q C_2 = (\alpha Q + q) C_m$$

$$L_e = C_m \left( \frac{\alpha Q}{q} + 1 \right) - \frac{\alpha Q}{q} C_1 = BOD_{混合后} \left( \frac{\alpha Q}{q} + 1 \right) - \frac{\alpha Q}{q} L_{河流}$$

d. 计算E<sub>2</sub>:  $E_2 = \frac{L_{原水BOD} - L_e}{L_{原水BOD}} \times 100\%$

### 3) 确定污水处理厂的处理程度:

比较E<sub>1</sub>、E<sub>2</sub>中较大者作为处理程度, 设计污水处理厂的工艺流程。



【习题】某城市污水要排入河流，已知：

污水流量 $q=1.0 \text{ m}^3/\text{s}$ ， $\text{BOD}=200\text{mg}/\text{l}$ ；

河流流量 $Q=7\text{m}^3/\text{s}$ （20年一遇的最早月平均流量，保证率95%），水温 $T=20^\circ\text{C}$ ， $\text{BOD}=2\text{mg}/\text{l}$ ， $\text{DO}=6\text{mg}/\text{l}$ ， $v=0.2\text{m}/\text{s}$ ， $k_1=0.1$ ， $k_2=0.2$ ， $\alpha \approx 1$ ，污水排入后不影响河流水温，污水处理后溶解氧浓度 $\text{DO}_{\text{污水}}=2\text{mg}/\text{l}$ 。

排放口下游15km处有一生活水源取水构筑物。

试计算拟建设污水处理厂的处理程度 $E$ 。