

西南交通大学 2014 年硕士研究生

招生入学试题

考试科目：环境工程（836）

一、名词解释（20 分）

- | | |
|--------------------|---------------|
| 1、BOD ₅ | 2、水体自净系数 |
| 3、自由沉淀 | 4、MLSS |
| 5、粉尘 | 6、声强 |
| 7、排水分流制 | 8、固体通量 |
| 9、硝化 | 10、 PM_{10} |

二、试分析天然水体中氧的消耗和溶解过程，绘出氧垂曲线，当有耗氧物质进入河道水体时，分析河道中氧浓度的变化趋势。（15 分）

三、什么是水环境容量？简述影响天然水体水环境容量的主要因素，写出水环境容量的计算公式。（20 分）

四、请绘图说明有机污染物耗氧生化降解过程中的碳化和硝化两个阶段的构成，解释

BOD_5 和 BOD_{20} 的差别。（15 分）

五、请根据氧化沟污水处理工艺的特点，按照其工艺操作运行工况，分别建立氧化沟污水处理系统的微生物量和有机物量的衡物料计算方程。（10 分）

六、下式是计算烟囱烟气抬升高度的博山克特理论公式，请说明公式的使用条件和各计算参数的含义。（10 分）

$$\Delta H = \Delta H_m + \Delta H_n$$

$$\Delta H_m = \frac{4.77}{1 + \frac{0.43\bar{u}}{v_s}} \frac{\sqrt{Q_0 v_s}}{\bar{u}}$$

$$\Delta H_n = 6.37g \frac{Q_0 \Delta T}{\bar{u}^3 T_a} \left(\ln J^2 + \frac{2}{J} - 2 \right)$$

$$J = \frac{\bar{u}}{(Q_0 v_s)^{1/2}} \left(0.43 \sqrt{\frac{T_a}{g \left(\frac{dQ}{dZ} \right)}} - 0.28 \frac{v_s}{g} \bullet \frac{T_a}{\Delta T} \right) + 1$$

七、请给出气体吸收的双膜理论模型图，并推导气体吸收过程的控制方程。（10 分）

八、请绘出垃圾堆肥处理工艺流程图，简述垃圾堆肥处理工艺的四个阶段的功能。（15 分）

九、简述城市垃圾焚烧处置的适用条件及系统的主要结构。（15 分）

十、写一篇 600—800 字的短文论述环境、污染物和污染三者之间的关系。（20 分）

西南交通大学 2014 年硕士研究生

招生入学试题解析

考试科目：环境工程（836）

一、名词解释（20 分）

1、**BOD₅**：在有氧的条件下，水中可分解的有机物由于好氧微生物的作用被氧化分解而无机化，这个过程所需要的氧量叫做生物化学需氧量，简称生化需氧量（BOD）；一般情况下，全国都规定统一采用 5d、20℃作为生化需氧量测定的标准条件，这样测得的生化需氧量记作 BOD₅。 28 页

2、**水体自净系数**：有机废水进入水体后，耗氧与复氧是同时进行的，耗氧速率常数和复氧速率常数的比值即成为水体自净系数，

即 $f = \frac{k_2}{k_1}$ ，表示水体自净能力的大小。 64

3、**自由沉淀**：在沉降过程中颗粒杂质的尺寸、形状和比重不随时间而改变。这种沉降称为自由沉降。 82 页

4、**MLSS**：混合液悬浮固体，指曝气池中污水和活性污泥混合后的混合液悬浮固体数量，也称混合液污泥浓度。 230 页

5、**粉尘**：粉尘系指悬浮于气体介质中的小固体颗粒，受重力作用能发生沉降，但在一段时间内能保持悬浮状态。 373 页

6、**声强**：垂直于声波传播方向上，单位时间内通过单位面积的声能量称为声强。 723 页

7、**排水分流制**：当生活污水，工业废水和雨水用两个或两个以上排水灌渠系统排出时，统称为分流制排水系统。 330 页

8、**固体通量**：单位时间内通过单位面积的固体质量。它是固体流速（ ρ ）和流速（ v ）

的乘积，即 $G = v\rho$ 。 113 页

9、**硝化**：硝化菌将氨氮转化成硝酸盐的过程称为硝化。 287 页

10、**PM₁₀**：即可吸入颗粒物，指悬浮在空气中，空气动力学当量直径 $\leq 10\mu m$ 的颗粒物。
374 页

二、试分析天然水体中氧的消耗和溶解过程，绘出氧垂曲线，当有耗氧物质进入河道水体时，分析河道中氧浓度的变化趋势。（15分） 62 页

解析：（62 页图 1—9 氧垂曲线）

废水进入河流后，其中的有机污染物会被微生物氧化分解逐渐变成无机物质，在该过程中需要消耗一定数量的氧，这部分氧用于碳化作用和硝化作用之中。除此以外，废水中的还原性物质和水底淤泥在分解时以

及一些水生植物在夜间呼吸时，都要从水中吸收氧气，从而消耗氧和降低水中的溶解氧含量。由此可见，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。

如图所示，当河流接纳有机废水以后，排入口（受污点）下游各点处溶解氧的变化是十分复杂的。一般，临近排入口各点，溶解氧逐渐减少。这是因为废水排入后，河水中有有机物较多，在生物氧化中需要较多的氧，它的耗氧速率超过了河流的复氧速率。随着河水中有有机物的逐渐氧化分解，耗氧速率逐渐降低。在排入口下游某点处（图中 C 点）会出现耗氧速率与复氧速率相等的情况。此时水中溶解氧的含量最低，这一点成为最缺氧点（氧垂点）。过了这一点以后，溶解氧又逐渐回升，即复氧速率大于耗氧速

率。

三、什么是水环境容量？简述影响天然水体水环境容量的主要因素，写出水环境容量的计算公式。（20 分） 67 页

解析：水环境容量：一定水体在规定的环境目标下所能容纳污染物质的最大负荷。影响水环境容量的主要因素有：

1、水体特征：水体的各种水文参数（河宽、河深、流量、流速等），背景参数（水的 pH、碱度、硬度等），自净参数（物理的、物理化学的、生物化学的）和工程因素（水上的工程设施，如闸、堤、坝等工程设施以及污水向水体的排放位置和方式等）。

2、污染物特征：如污染物的扩散性、持久性、生物降解性等。一般来说，污染物的物理化学性质越稳定，环境容量越小。耗氧有机物的水环境容量最大，难降解有机物的水

环境容量最小，而重金属的水环境容量则甚微。

3、水质目标：水体对污染物的纳污能力是相对于水体满足一定的用途功能而言的。水的用途和功能要求不同，允许存放在水体的污染物量也不同。

水环境容量的计算公式：

$$W = V(S - B) + C$$

式中：

W ———某地表水体的水环境容量；

V ———该地表水体的体积；

S ———地表水中某污染物的环境标准（ mg/L ）；

B ———地表水中某污染物的环境背景值；

C ———地表水的自净能力。

四、请绘图说明有机污染物耗氧生化降解过程中的碳化和硝化两个阶段的构成，解释 BOD_5 和 BOD_{20} 的差别。（15 分） 30 页

解析：（30 页图 1—6 有机物质好氧分解的两个阶段）

在有氧条件下，废水中有机物质的分解是分两个阶段进行的。

碳化阶段：此阶段主要是不含氮有机物的氧化，也包括含氮有机物的氨化，以及氨化后生成的不含氮有机物的继续氧化。碳氧化阶段所消耗的氧量称为碳化生化需氧量，总的碳化生化需氧量常称为第一阶段生化需氧量或完全生化需氧量，常以 L_a 或 BOD_u 表示。

硝化阶段：水中的硝化细菌可以氧化水中原有的氮和含氮有机物氨化分解出来的氨，使之氧化呈亚硝酸盐，最终转化为硝酸盐，这个过程也需要一定的氧。由于这种硝化作用所消耗的氧量则称为硝化生化需氧

量，即第二阶段生化需氧量，以 L_N 或 NOD 表示。

实际测定耗氧结果所得曲线是 **b**，即碳化生化需氧量加硝化生化需氧量。我们通常所说的生化需氧量知识指碳化生化需氧量，即第一阶段生化需氧量 L_a （如图中虚线 **a**）。

生化需氧量的基本测定方法是将水样（或经稀释的水样）注入并充满若干个有水封的具塞玻璃瓶中，先测出其中一瓶水样当天的溶解氧量，并将其余各瓶放在 $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 的培养箱内培养 $5d$ 后再测其溶解量。培养前后溶解氧之差即为此水样的 BOD_5 。而有机物的生物氧化是一个缓慢的过程，大多数有机物质经过 $20d$ 大约能完成 $95\% \sim 99\%$ ，以后的反应进行得非常缓慢，

5d 的生物氧化只完成 70% 左右。所以将水样培养 20d 后测其溶解量所得的培养前后溶解氧之差为水样的 BOD_{20} 。

五、请根据氧化沟污水处理工艺的特点，按照其工艺操作运行工况，分别建立氧化沟污水处理系统的微生物量和有机物量的衡物料计算方程。（10 分） 230 页

解析：氧化沟污水处理工艺又名连续循环混合式曝气池，是活性污泥法的一种变形。在活性污泥法中，污水在曝气系统中有：系统中的微生物量衡算方程：

$$\begin{aligned} Q_0 X_0 + V \left(\frac{k_0 X S}{k_s + S} - k_d X \right) \\ = (Q_0 - Q_w) X_c + Q_w X_u \quad (1) \end{aligned}$$

即进入系统的微生物量加上系统中增长的微生物量等于流出系统的微生物量。

系统中的有机物量衡算方程：

$$Q_0 X_0 - V \frac{k_0 X S}{Y(k_s + s)} = (Q_0 - Q_w) S + Q_w S \quad (2)$$

即进入系统的有机物量减去系统中有机物消耗量等于流出系统的有机物量。

式中：

Q_0, Q_w ——进水和排放污泥流量, m^3/d ;

X_0, X, X_e, X_u ——进水、曝气池混合液中、出水、底流中污泥浓度, kg/m^3 ;

S_0, S ——进水、曝气池中有机物浓度, kg/m^3 ;

V ——曝气池容积, m^3 ;

k_s, k_0, k_d, Y ——动力学常数。

又由于进水和出水中微生物量很少,

$X_0 \approx 0$, $X_e \approx 0$ 。又假设进水一流入曝气池记得到完全混合, 所有的生物反应都在曝气池中完成, 则式(1)(2)可简化为:

$$\frac{k_0 S}{k_s + s} = \frac{Q_w X_w}{V X} + k_d$$

$$\frac{k_0 S}{k_s + S} = \frac{Q_0}{V} \cdot \frac{Y}{X} (S_0 - S)$$

联立得：

$$\frac{Q_w X_u}{VX} = \frac{Q_0 Y}{VX} (S_0 - S) - k_d$$

上式中， $\frac{V}{Q_0}$ 和 $\frac{VX}{Q_w X_u}$ 分别称为水力停

留时间和平均细胞停留时间（即污泥龄），

分别用符号 θ 和 θ_c 表示，

$$\frac{1}{\theta_c} = \frac{YQ(S_0 - S)}{VX} - k_d$$

六、下式是计算烟囱烟气抬升高度的博山克特理论公式，请说明公式的使用条件和各计算参数的含义。（10 分）（第二版书）

$$\Delta H = \Delta H_m + \Delta H_n$$

$$\Delta H_m = \frac{4.77}{1 + \frac{0.43\bar{u}}{v_s}} \frac{\sqrt{Q_0 v_s}}{\bar{u}}$$

$$\Delta H_n = 6.37g \frac{Q_0 \Delta T}{\bar{u}^3 T_a} \left(\ln J^2 + \frac{2}{J} - 2 \right)$$

$$J = \frac{\bar{u}}{(Q_0 v_s)^{1/2}} \left(0.43 \sqrt{\frac{T_a}{g \left(\frac{dQ}{dZ} \right)}} - 0.28 \frac{v_s}{g} \cdot \frac{T_a}{\Delta T} \right) + 1$$

解析：公式中： ΔH 为烟气抬升高度； ΔH_m

为动力抬升高度； ΔH_n 为浮力抬升高度； Q_0

为温度在 T_a 时的排气量，单位 m^3/s ； g 为

重力加速度，单位为 m/s^2 ； $\frac{dQ}{dZ}$ 为位温梯

度，单位为 K/m ，超绝热和中性取

$0.003 K/m$ ，等温时取 $0.01 K/m$ ，中等逆温

取 $0.02 \sim 0.03 K/m$ 。博山克特公式特别适用

于大而强的热源。

七、请给出气体吸收的双膜理论模型图，并推导气体吸收过程的控制方程。(10 分) 476 页

解析：(477 页图 7—1 双膜理论模型)

双膜理论模型如图所示，它假设在气—液相界面两侧各存在一层滞留膜，即气膜和液膜。在气膜和液膜以外的气相或液相主体中，由于湍流扩散作用不存在浓度梯度。气相的扩散阻力全部在气膜内，液相的扩散阻力全部在液膜内，膜内仅发生分子扩散。因此气液相间的传质速率取决于通过气膜和液膜的分子扩散速率。被吸收组分 A 在气膜和液膜内的传质速率可用费克定律推出。

对于气膜++:

$$N_A = \frac{D_{AC}}{Z_G} (p_{AG} - p_{Ai}) = k_{AG} (p_{AG} - p_{Ai})$$

(1)

对于液膜:

$$N_A = \frac{D_{AL}}{Z_L}(C_{Ai} - C_{AL}) = k_{AL}(C_{Ai} - C_{AL})$$

(2)

式中:

D_{AG} 、 D_{AL} ——组分A在气相、液相中的分子扩散系数, $\text{kmol}/(\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$;

Z_G 、 Z_L ——气膜、液膜厚度, m ;

p_{AG} 、 p_{Ai} ——气相主体与界面处的分压, Pa ;

c_{AG} 、 c_{Ai} ——液相主体与界面处的浓度, kmol/m^3 ;

k_{AG} 、 k_{Ai} ——气相、液相传质系数, $\text{kmol}/(\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$;

由于组分A在界面位置处于气液平衡状态,

根据亨利定律有:

$$c_{Ai} = H_A \cdot p_{Ai} \quad (3)$$

联立(1)(2)(3), 得到稳定吸收过程的

总传质方程式:

$$N_A = \frac{p_{AG} - p_A^*}{\frac{1}{k_{AG}} + \frac{1}{k_{AL} \cdot H_A}} = K_{AG}(p_{AG} - p_A^*)$$

或

$$N_A = \frac{c_A^* - c_{AL}}{\frac{1}{k_{AL}} + \frac{H_A}{k_{AG}}} = K_{AL}(c_A^* - c_{AL})$$

式中：

K_{AG} ——以分压表示的气膜总传质系数；

K_{AL} ——以液相浓度表示的液膜总传质系数。

八、请绘出垃圾堆肥处理工艺流程图，简述垃圾堆肥处理工艺的四个阶段的功能。（15分） 688 页

解析：（688 页图 11—4 机械堆肥工艺流程图）

垃圾堆肥处理工艺包括发酵、熟化、加工和储存四个阶段。

1、发酵阶段：此阶段是生物化学反应的基本阶段，需要 2~3 周时间。发酵期需满足下列各项工艺条件：碳氮比（堆肥的最佳碳氮以 20:1~30:1 为宜。若城市垃圾中氮源不足，应适当掺入含氮较高的物质，如城市污水处理厂污泥或粪便等废物。）含水率（发酵过程中应保证发酵物含水率为 40%~60%。水分过高易造成发酵的厌氧条件；水分过低，则会影响好氧微生物的繁殖。）温度（温度的变化是预示好氧微生物活性的重要指标。野外堆肥最高温度在 66~71℃，工厂化堆肥最高温度达到 79~82℃） pH （垃圾的 pH 一般在 5~8 之间，在良好的发酵条件下，开始的几天 pH 稍有降低，随后逐日上升，直至 8.0~8.5 范围而恒定。）空气需要量（较好的通风条件，充足的氧气，是好氧堆肥过程

正常运行的基本保证。)

2、熟化阶段：发酵完成后的肥料中，微生物仍然比较活跃，其中未被分解的有机物将继续分解，此时碳氮比较高，直接施肥与作物不利，所以需要将新发酵的肥料在相对静止的条件下，继续完成有机物的分解过程，是较难降解的有机物得到进一步降解。碳氮比到达 12:1 左右，熟化基本达到。野外人工堆肥熟化时间为 1~2 周，工厂化机械堆肥则需要 7~12 天。

3、加工阶段：熟化后的肥料中，尚含有少量未被分离的塑料、玻璃、陶瓷等不利于施肥的杂物碎片，且肥料颗粒不均匀。因此，需要进一步利用破碎、筛分等加工手段处理，以去除杂质使颗粒均化。加工时肥料的含水率宜小于 30%。

4、储存阶段：为适应农田施肥的高峰和淡

季需求，大型垃圾堆肥厂需均备有 6 个月以上产品储存能力的储存场所与设施，并应配备防雨措施。

九、简述城市垃圾焚烧处置的适用条件及系统的主要结构。（15 分） 695 页

解析：一个完整的城市垃圾焚烧系统与热源回收系统，通常包括下述七个子系统：

1、垃圾处理与储存系统：城市垃圾进入焚烧系统前需要进行人工筛选、破碎、分选、脱水与干燥等预处理环节，以满足焚烧系统的各项技术条件。为保证焚烧系统操作的连续性，需建造一定容量的垃圾储存场所。

2、进料系统：焚烧炉进料系统分为间歇和连续式两种，连续进料的诸多优点，如炉容量大、燃烧带温度高易于控制等，现代大型焚烧炉均采用连续进料方式。

3、燃烧室：燃烧室是固体废物燃烧系统的

核心，由炉膛、炉箬与助燃空气供风系统组成。炉膛结构由耐火材料砌筑或水管壁构成。炉箬是燃烧室的重要组成部分，它有两个功能，一是传送燃料通过燃烧带，将燃尽的灰渣转移到排渣系统；二是在移动过程使燃料发生适当的搅动，促进燃烧。助燃空气供风系统主要是保障燃烧室内燃料有效燃烧所需风量。

4、废气排放与污染控制系统：主要包括烟气通道、废气净化设施和烟囱。焚烧过程中会产生粉尘、恶臭与少量氮、硫氧化物以及二噁英气体等污染物。尤其是二噁英气体，具有很强的毒性且较难处理，在垃圾焚烧过程必须严格控制二噁英的产生。对于粉尘污染常采用沉降室、旋分器、袋式除尘器等除尘设施。

5、排渣系统：将燃尽的灰渣及时排出，以

保证焚烧炉正常操作。

6、焚烧炉的控制与测试系统：焚烧炉配备现代化控制与测试系统以保证用最少的操作人员，达到高效率、正常工况运行水平。一般垃圾焚烧炉采用的控制系统包括供风控制，炉温、炉压与冷却系统的控制，收尘系统控制。测试内容包括压力、温度、流量的指示，烟气污染物浓度的指示与警报系统。

7、热资源回收系统：回收垃圾焚烧系统的热资源，是建立垃圾焚烧系统的主要目的之一。焚烧过程中产生的热能可以转化为蒸汽回收利用，据统计，焚烧 1 kg 经处理、分选后的城市垃圾，可产生 0.5 kg 蒸汽。

十、写一篇 600—800 字的短文论述环境、污染物和污染三者之间的关系。（20 分）

解析：略。言之有理即可。