

YOUJI FEISHUI CHULI de JIBEN SHEJI YU JISUAN

有机废水处理的 基本设计与计算

王光裕 编



化学工业出版社



YOUJI FEISHUI CHULI de JIBEN SHEJI YU JISUAN

有机废水处理的 基本设计与计算

王光裕 编



化学工业出版社

·北京·

本书分为上、下两篇,上篇主要介绍有机污染废水处理设计的基本计算方法,内容包括传统活性污泥法、A-B 两段活性污泥法、缺氧(水解)-好氧工艺、厌氧-好氧工艺、厌氧-缺氧-好氧工艺、SBR 活性污泥法、氧化沟工艺、接触氧化法、生物流化床、有机污染物废水的特殊生物处理工艺、厌氧生物处理工艺;下篇主要针对高浓度有机污染物废水的特点,进一步制订生物处理方案并进行初步基本计算,内容包括高浓度有机废水常用的预处理方法、高浓度难降解有机废水生物预处理方法、高盐度高浓度污染物废水的处理、高含硫酸盐与氮的有机工业废水处理、含磷有机工业废水的处理、中间体生产废水的处理。

本书可供高等学校环境工程和市政工程专业学生、设计单位工程技术人员、工厂企业管理人员进行工程实习、方案设计、运行管理时参考。

图书在版编目(CIP)数据

有机废水处理的基本设计与计算/王光裕编. —
北京:化学工业出版社,2016.1
ISBN 978-7-122-25429-0

I. ①有… II. ①王… III. ①有机废水-废水处理-
设计 ②有机废水-废水处理-计算 IV. ①X703

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 250130 号

责任编辑:左晨燕
责任校对:宋 玮

文字编辑:向 东
装帧设计:刘剑宁

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 刷:北京永鑫印刷有限责任公司
装 订:三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 17 字数 464 千字 2016 年 2 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:85.00 元

版权所有 违者必究

前 言

随着我国经济高速发展，有机工业、生物化工工业也随之快速发展起来，尽管我们在发展中注重化工工业的清洁生产，采取多种措施，将“三废”的排放压缩至最小范围，但这些工业的发展仍避免不了伴有“三废”的排放，特别是废水的排放，造成我国的水体污染。

我们国家虽然进行了多年的水环境治理，但与水体被污染的严重程度和范围之广相比较，差距甚大。作为水环境治理的技术人员来说，面临的工作相当艰巨。

编者从事水环境治理设计工作近 50 年，深感水环境治理工作的重要性和迫切性，本书将编者在工作中的点滴设计经验和搜集到的许多资料，较系统地汇编成册，期望对参加设计工作的同志有所帮助，能较快地提高他们的独立设计工作能力，对从事水环境治理设计工作的同志能起到交流和参考的作用。

编者从退休起至今 16 年，点点滴滴，将汇编的工作坚持了下来，虽水平不高，但其心至诚，期望为环境事业的海洋增添一滴水。

为了本书的系统性和完整性，编者在编写过程中引用了已出版的书刊和资料，对这些书刊和资料的作者，编者表示诚恳的谢意。

本书在编写过程中得到了南京工业大学老师杨丽博士和江苏省嘉庆水务发展有限公司苗红霞工程师等同志的大力支持和帮助，在此，编者表示由衷的感谢。

本书能够得以出版，还得到了全国化工环境保护设计技术中心站孙效平站长和中国石油和化工勘察设计协会魏然书记的大力帮助，孙效平站长参与了本书的校对工作，在此一并表示感谢。

由于编者水平与实践经验有限，书中难免存在疏漏和不足之处，恳望读者批评与指正。

编者

2014 年 12 月

目 录 CONTENTS

上篇 有机污染物废水生物处理的基本设计计算

第一章 传统活性污泥法	2
一、工艺流程	2
二、设计参数	2
三、活性污泥法基本计算公式	2
四、设计计算实例（供参考）	4
第二章 A-B 两段活性污泥法	18
一、工艺流程	18
二、设计要点及参数	18
三、AB 法基本计算公式	20
四、设计计算实例（张店污水处理厂）	21
五、应用与研究	24
第三章 缺氧（水解）-好氧工艺（A_1/O 法）	25
一、工艺流程	25
二、设计要点及参数	26
三、 A_1/O 法基本计算公式	27
四、设计计算例题	30
五、缺氧池结构设计	32
六、同步硝化与反硝化	33
七、短程硝化-反硝化工艺与厌氧氨氧化工艺	33
第四章 厌氧-好氧工艺（A_2/O 法）	36
一、工艺流程	36
二、设计要点及参数	36
三、 A_2/O 法基本计算公式	37

四、设计计算例题	38
第五章 厌氧-缺氧-好氧工艺 (A_2-A_1/O 即 A^2/O 法)	41
一、工艺流程	41
二、设计要点及参数	42
三、设计计算例题	43
第六章 SBR 活性污泥法	48
一、SBR 工艺流程	48
二、设计要点及参数	48
三、设计计算例题	50
四、总污泥量综合计算法	51
五、SBR 工艺设计参数选用建议值	54
六、SBR 的主要改进型工艺的设计与计算	55
第七章 氧化沟 (OD) 工艺	72
一、工艺流程、工艺特点及类型	72
二、设计要点及参数	73
三、氧化沟 (OD) 工艺的设计程序	76
四、氧化沟 (OD) 工艺基本计算公式	76
五、设计计算实例	79
第八章 接触氧化法	106
一、工艺流程	106
二、设计要点及参数	106
三、基本计算公式	107
四、设计计算实例	108
第九章 生物流化床	111
一、工艺流程	111
二、MBBR 生物流化床的设计与计算	112
三、传统生物流化床的设计与计算	113
第十章 有机污染物废水的特殊生物处理工艺	117
一、高效生物反应器 (HCR)	117
二、塔式深层活性污泥法	121
三、VTBR 反应器的设计与应用	124
四、膜生物反应器	127
五、纯氧活性污泥法	133

六、生物活性炭法 (PACT) 工艺	137
七、LINPOR 工艺	142
第十一章 厌氧生物处理工艺	143
一、厌氧处理过程中的主要影响因素与主要控制条件	143
二、厌氧生物处理工艺的主要类型	147
三、UASB 厌氧反应器的设计	149
四、折流板 (ABR) 厌氧反应器	157
五、第三代厌氧生物处理工艺	166

下篇 高浓度有机污染物废水生物处理方案与基本计算

第十二章 高浓度有机废水常用的预处理方法	179
一、化学水解法	179
二、物化法	179
三、氧化法	188
第十三章 高浓度难降解有机废水生物预处理方法	204
一、生物水解法	204
二、厌氧预处理方法	207
第十四章 高盐度高浓度污染物废水的处理	219
一、高含盐量有机废水采用生物处理的影响	219
二、电化学处理高盐度有机物废水工艺	220
三、高盐度有机物废水的预处理-蒸馏法脱盐处理	221
四、反渗透 (RO) 法脱盐处理	223
五、超滤法	230
第十五章 高含硫酸盐与氮的有机工业废水处理	234
一、高硫酸盐有机废水对厌氧处理的影响	234
二、高硫酸盐有机废水厌氧处理的技术	236
三、高硫酸盐有机废水的预处理	237
四、废水中高氨氮处理的主要技术应用与新进展	238
第十六章 含磷有机工业废水的处理	241
一、化学沉淀法	241
二、化学水解法除磷	241

三、 吸附法除磷	242
四、 结晶法除磷	242
五、 生物法除磷	243
六、 离子交换法	243
七、 电渗析除磷	243
八、 农药中间体及有机磷农药废水的处理	244
第十七章 中间体生产废水的处理	250
一、 医药及其中间体废水的处理	250
二、 染料中间体废水的处理	253
三、 有机中间体的废水的处理	255
参考文献	262

上篇

有机污染物废水生物处理 的基本设计计算

废水中的有机污染物是造成水污染的最重要的因素之一，而现代工业的飞速发展，更加重了水体的水质恶化，尤其含有高浓度有机污染物的废水，对人类健康的影响尤为重要。

目前，对含有高浓度有机污染物废水的净化处理问题，也日益得到人们的重视和研究。高浓度有机废水具有污染物含量高、危害严重、处理工艺复杂、投资和运行成本高等特点，对从事环境设计的技术人员是一大挑战。

环境设计工作，是在环境科学研究的基础上，将科研成果应用于实践的一个艰苦过程，在设计中不断结合实际，利用科研成果，进行实验，改进处理工艺，以期达到较理想的水平。

第一章 传统活性污泥法

活性污泥法 (Activated Sludge Process) 为在人工充氧的条件下, 培养和驯化微生物群体 (此种具有活性微生物群体的絮凝体, 称为“活性污泥”), 并利用此种“活性污泥”的吸附和生物氧化作用, 使废水得以净化的过程。

活性污泥法经过几十年的发展, 已形成了以传统活性污泥法系统为基础的多种工艺, 本书仅介绍其中经常采用的几种工艺流程。

完整的活性污泥处理系统一般包括预处理, 如沉砂池、初沉池等, 有关低浓度有机废水生物处理的预处理的方法及设计计算, 本书不做系统详细介绍, 仅在例题中涉及时略加介绍。

一、工艺流程

普通活性污泥法又称传统活性污泥 (Conventional Activated Sludge, CAS) 法, 其工艺流程如图 1-1 所示。



图 1-1 传统活性污泥法流程图

二、设计参数

活性污泥法根据废水水质和排放要求有多种运行方式, 经过多年来发展, 类型众多, 各种运行方式及曝气池的设计参数见表 1-1。

表 1-1 活性污泥法运行方式及曝气池的设计参数

项 目	普通活性污泥法	阶段曝气法	吸附再生	延时曝气法	高负荷活性污泥法
曝气时间/h	6~8	4~6	>5	16~24	1.5~3.0
MLSS/(mg/L)	1500~2500	2000~3000	2000~8000	3000~6000	500~1500
污泥回流比/%	25~75	25~75	50~100	50~150	10~30
BOD 容积负荷/[kg/(m ³ ·d)]	0.3~0.9	0.4~1.4	0.8~1.4	0.15~0.25	
BOD-MLSS 负荷/[kg/(kg MLSS·d)]	0.2~0.4	0.2~0.4	0.2~0.4	0.03~0.05	
送气量/(m ³ /m ³ 污水)	3~7	3~7	>12	>15	
污泥龄/d	2~4(3~6)	2~4(3~6)	2~4(3~6)	15~30	
BOD 去除率/%	95	95	90	75~90	70~75

注: 1. 上述设计参数, 均以处理生活污水为主的城市污水处理厂作主要目标。

2. 括号内数值供参考。

三、活性污泥法基本计算公式

传统的活性污泥法计算公式见表 1-2。

表 1-2 传统的活性污泥法计算公式

项 目	公 式	符号说明
处理效率	$\eta = \frac{S_a - S_e}{S_a} \times 100\%$ $S_r = S_a - S_e$	η ——BOD 去除效率, %; S_a ——进水 COD _{Cr} 或 BOD ₅ 浓度, kg/m ³ ; S_e ——出水 COD _{Cr} 或 BOD ₅ 浓度, kg/m ³ ; S_r ——去除 COD _{Cr} 或 BOD ₅ 浓度, kg/m ³
污染物降解动力学关系式	$\frac{S_a - S_e}{X_v T} = k S_e$	T ——水力停留时间, d; k ——污染物降解速率常数; X_v ——挥发性污泥浓度, MLVSS, kg/m ³ , 一般 $X_v = fX = 0.75X$; X ——活性污泥浓度, MLSS, kg/m ³
曝气池容积/m ³	$V = \frac{QS_a}{N_s X}$	Q ——废水设计流量, m ³ /h; N_s ——污泥负荷, kg COD _{Cr} /(kg MLSS · d) 或 kg BOD ₅ /(kg MLSS · d);
混合液污泥浓度	$X = [R/(1+R)]X_r$	X_r ——回流污泥浓度, kg/m ³ ; R ——污泥回流比
水力停留时间/h	$T = V/Q$	T ——水力停留时间, h
污泥产量/(kg/d)	干污泥量: $W = aQS_r - bVX_v$ 湿污泥量: $Q_s = W/fX_r \text{ (m}^3\text{/d)}$ $X_r = (10^6/\text{SVI})r \text{ (mg/L)}$	W ——系统每日排除剩余污泥量, kg/d; a ——污泥增殖系数, 一般 0.5~0.7(参见表 1-3); b ——污泥自身氧化率, 一般 0.04~0.1(参见表 1-3); SVI——污泥指数, 一般 SVI 为 100~180
泥龄/d	$\theta_c = X_v V/W$	θ_c ——泥龄, 生物固体平均停留时间, d
曝气池需氧量	$O_2 = a'QS_r + b'VX_v$	O_2 ——混合液每日需氧量, kg O ₂ /d; a' ——氧化每千克 BOD 需氧质量, (kg O ₂ /kg BOD), 一般取 0.42~0.53; b' ——污泥自身氧化需氧率, kg O ₂ /(kg MLVSS · d) 一般取 0.188~0.11 (a' 、 b' 参见表 1-3)

活性污泥法计算公式中的系数见表 1-3。

表 1-3 活性污泥法计算公式中的系数

废 水 类 型	a	a'	b	b'	k
生活污水及相似工业废水	0.5~0.6	0.42~0.53	0.05~0.1	0.188~0.11	0.017~0.03 (0.0168~0.0281)
炼油废水	0.49~0.62	0.55(0.5)	0.10~0.16	0.12	0.074
化学和石油化工废水(石油化工废水)	0.31~0.72	0.75	0.05~0.18	0.16	0.0029~0.018 (0.00672)
啤酒厂废水	0.56	0.48	0.10	0.142	—
制药厂废水	0.77	0.35	—	0.354	0.018
牛皮纸浆和漂白废水	0.76	0.65~0.8	0.016	0.114	—
漂染废水	—	0.5~0.6	—	0.065	—
合成纤维废水	0.38	0.55	0.10	0.142	—
制浆及造纸废水	0.76	0.38	0.016	0.092	—
化学废水	—	—	—	—	0.00144
合成橡胶废水	—	—	—	—	0.0672
含酚废水	—	0.56	—	—	—

续表

废 水 类 型	a	a'	b	b'	k
亚硫酸浆粕废水	—	0.4	—	0.185	—
生活、纺织混合废水	—	0.63	—	0.12	—
酿造废水	—	0.44	—	—	—

注：1. 在进行需氧量计算时，应合理选用表中数据，最好通过试验确定。
2. 括号内数值供参考。

生物处理构筑物进水中有害物质容许浓度，见表 1-4。

表 1-4 生物处理构筑物进水中有害物质容许浓度 单位：mg/L

物质或元素	浓度	物质或元素	浓度	物质或元素	浓度
三价铬	3	铁	10	拉开粉	100
六价铬	0.5	镉	0.2	硫化物(以 S^{2-} 计)	20
铜	1	汞	0.01	氯化钠	4000
镍	2	砷	0.2		
铅	0.5	石油类	50		
镉	0.1	烷基苯磺酸盐	15		

注：1. 表列容许浓度为持续性浓度。一般可按日平均浓度计。
2. 此表摘自《室外排水设计规范》。

由于毒性物质的毒害作用与 pH、水温、溶解氧、处理构筑物的形式、有无其它毒物存在、微生物的数量和驯化程度等因素有关，由于试验条件不同，所以，有毒物质在污水生物处理中的极限允许浓度至今并没有一个统一的具有权威性的标准，本书所提供的数值可供参考。

四、 设计计算实例（供参考）

1. 设计条件

某石油化工总厂综合废水处理工艺条件如下：

(1) 水质与水量

① 水质

BOD₅：350mg/L；COD_{Cr}：500mg/L；SS：300mg/L；pH：6~9

水温：15~33℃

② 水量：2500m³/h=0.694m³/s；其中生活污水 440m³/h，排水人口为 60000 人。

(2) 工艺流程 工艺流程简图见图 1-2。



图 1-2 工艺流程简图

2. 工艺设计计算

(1) 沉砂池工艺计算 沉砂池按流态分为：平流式沉砂地、竖流式沉砂地、曝气沉砂池、涡流式沉砂池等。本设计采用平流式沉砂池。平流式沉砂池设计参数：

① 最大流速为 0.3m/s；最小流速为 0.15m/s；

- ② 最大 HRT 不小于 30s，一般采用 30~60s；
- ③ 有效水深应不大于 1.2m，一般采用 0.25~1.0m，每格宽度不宜小于 0.6m。
- ④ 进水头部应采用消能和整流措施。
- ⑤ 池底坡度一般为 0.01~0.02；当设置除砂设备时，应根据设备要求考虑池底形状。
- 平流式沉砂池设计计算公式如表 1-5 所示。

表 1-5 平流式沉砂池设计计算公式

项 目	公 式	符号说明
池长/m	$L=Vt$	V ——最大设计流量时的流速, m/s; t ——最大设计流量时的 HRT, s
水流断面面积/m ²	$A=Q_{\max}/V$	$Q_{\max}$ ——最大设计流量, m ³ /s
池总宽度/m	$B=A/h_2$	h_2 ——设计有效水深, m
沉砂室所需容积/m ³	$V=Q_{\max}XT\times 86400/(10^6K_x)$	X ——城市污水沉砂量, m ³ /10 ⁶ m ³ , 污水一般采用 30m ³ /10 ⁶ m ³ ; T ——清除沉砂间隔时间, d; K_x ——废水流量总变化系数
池总高度/m	$H=h_1+h_2+h_3$	h_1 ——超高, m; h_3 ——沉砂室高度, m
验算最小流速/(m/s)	$v_{\min}=Q_{\min}/(n_1\omega_{\min})$	$Q_{\min}$ ——最小流量, m ³ /s; n_1 ——最小流量时沉砂池工作的数目, 个; $\omega_{\min}$ ——最小流量时沉砂池中的水流断面面积, m ²

① 工业废水的沉砂量，设为 0.11kg/m³，容重 1500kg/m³，生活污水沉砂量一般按 0.02 L/(人·d)计算。

② 水平流速 $V=0.3\text{m/s}$ ； $\text{HRT}=30\text{s}$ ；则池长 $L=Vt=0.3\times 30=9.0(\text{m})$ 。

③ 沉砂池水流断面面积：

$$A=Q_{\max}/V=0.695/0.3=2.32(\text{m}^2)$$

④ 沉砂池采用三格，每格宽 $b=0.9\text{m}$ ，故水深 $H=2.32/(3\times 0.9)=0.86(\text{m})$ ，取 0.9m。

⑤ 沉砂量：每天工业废水沉砂量的体积 $W_1=(2500-440)\times 24\times 0.11/1500=3.63(\text{m}^3)$ ；

生活污水沉砂量的体积 $W_2=(60000\times 0.02)/1000=1.2(\text{m}^3)$ ；

每天沉砂量 $W=W_1+W_2=3.63+1.2=4.83(\text{m}^3)$ ；

⑥ 沉砂斗：每格沉砂池设置两只斗，每只斗上口为 0.9m×4.5m，下口为 0.4m×0.4m，长方向与水平呈 50°角，高 2.44m，容积为

$$\begin{aligned} V &= (h/6) \times (2ab + ab_1 + a_1b + 2a_1b_1) \\ &= (2.44/6) \times (2 \times 0.4 \times 0.4 + 0.4 \times 0.9 + 0.4 \times 4.5 + 2 \times 4.5 \times 0.9) \\ &= 4.3(\text{m}^3); \end{aligned}$$

总容积为 $3\times 2\times 4.3=25.8(\text{m}^3)$ ；

沉砂斗设计，为保证斗底排渣和不增加斗数，每格仍按两只斗安排。

⑦ 贮砂池：贮砂池位于高架沉砂池下部，平面尺寸为 9m×3.1m，深 0.9m，容积 25.1m³；池底为 5%斜坡，一端设置不锈钢网，以利沉渣脱水，脱水后沉渣用车定期外运。

⑧ 进口格栅及出口计量设备：进口格栅间隙 30mm，格栅条用 UPVC（硬聚氯乙烯）制作，厚 8mm，宽 10mm，长 1550mm，格栅总宽 1850mm，与水平成 70.5°角，格栅主要起整流作用

(因进水泵前已设置格栅), 沉砂池出口经过整流栅后, 设置梯形流量堰, 材料为 UPVC, 宽 1500mm, 堰高 550mm, 堰头水深 400mm。

三条沉砂池进出口处均设有闸门, 可以调换断流排泥。

沉砂池剖面图见图 1-3。

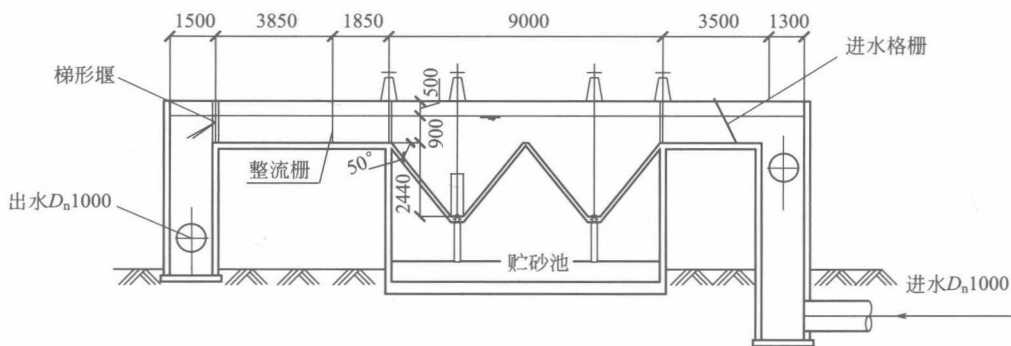


图 1-3 沉砂池剖面图

(2) 曝气池工艺计算 曝气池是活性污泥法系统的核心构筑物, 主要设计内容为: 计算曝气时间及曝气池容积; 确定曝气池各部分结构尺寸; 计算曝气池需氧量以及水、泥、气的配管; 进、出水堰的设计等。

① 设计要求及参数选择 出水要求: $BOD_5 = 30\text{mg/L}$; $COD_{Cr} < 100\text{mg/L}$;

参数选择: $N_s = 0.4\text{kg } BOD_5 / (\text{kg MLVSS} \cdot \text{d})$; 曝气池混合液污泥浓度 $X = MLSS = 3.2\text{g/L}$; 污泥有机物含量 75%, $MLVSS = 2.4\text{g/L}$, 污泥指数 $SVI = 125 \sim 165\text{mL/mg}$, 水温为 $20 \sim 30^\circ\text{C}$ 。

② 曝气时间及曝气池容积 曝气池的容积可按污泥负荷、容积负荷或生物固体停留时间、水力停留时间进行计算。本例按污泥负荷进行计算。

$$V = Q_{\max} S_a / (N_s X_v)$$

式中 V ——曝气池容积, m^3 ;

$Q_{\max}$ ——废水设计最大流量, m^3/h ;

S_a ——进水 BOD 浓度, kg/m^3 ;

X_v ——MLVSS 浓度, kg/m^3 ;

N_s ——污泥负荷, $\text{kg } COD_{Cr} / (\text{kg MLSS} \cdot \text{d})$ 或 $BOD_5 / (\text{kg MLSS} \cdot \text{d})$ 。

$T = V / Q_{\max}$ T 为曝气时间, h ; (实际上亦是水力停留时间) 代入上式:

$$T = S_a / (X_v N_s) = 24 \times 0.35 / (2.4 \times 0.4) = 8.75 (\text{h}), \text{取 } 9.0\text{h}$$

曝气池容积: $2500 \times 9 = 22500 (\text{m}^3)$ 。

③ BOD 的去除 在曝气池内 BOD 浓度较低时, 溶解氧大于 1mg/L , 污泥处于衰减期, 这时期池内的 BOD 去除率与存在的 BOD 浓度成正比 (即一级反应), 用下式表示:

$$-dl/dt = kS$$

考虑污泥影响

$$-dl/dt = k' X_v S$$

将上式积分, 并按完全混合系统内物质平衡原理, BOD 去除可用下式表示:

$$S_e = S_a / (1 + k' X_v T)$$

上式也可从污染物降解动力学关系式中获得。

式中 k' ——BOD 去除常数, $\text{L} \cdot \text{h}/\text{mg}$ 。

k' 与温度有关, $t^\circ\text{C}$ 时的 k' 可用下式表示:

$$k'_t = k'_{20} \times 1.047^{t-20}$$

从有关资料中获得 BOD 去除常数:

$$\text{对石油化工废水} \quad k' = 0.28 \times 10^{-3}$$

$$\text{对生活污水} \quad k' = 1.2 \times 10^{-3}$$

进入曝气池废水, 石油化工废水占 80%, 生活污水占 20%, 故平均 BOD 去除常数为:

$$0.28 \times 10^{-3} \times 0.8 + 1.2 \times 10^{-3} \times 0.2 = 0.464 \times 10^{-3};$$

同理, 当水温为 30℃ 时, BOD 去除常数为 0.735×10^{-3} ;

生化系统内出水 BOD_5 为:

$$\text{当水温为 } 20^\circ\text{C} \text{ 时} \quad k' = 0.464 \times 10^{-3}$$

$$S_e = 350 / (1 + 0.464 \times 10^{-3} \times 2400 \times 9) = 32 (\text{mg/L})$$

$$\text{当水温为 } 30^\circ\text{C} \text{ 时} \quad k' = 0.735 \times 10^{-3}$$

$$S_e = 350 / (1 + 0.735 \times 10^{-3} \times 2400 \times 9) = 19 (\text{mg/L})$$

如果要求当水温为 20℃ 时生化系统内出水 BOD_5 为 20mg/L; 则可以依此反求曝气时间, 此时曝气时间为 15.5h。

④ 曝气池需氧量的计算

a. 需氧量的计算 曝气池需氧量按下式计算:

$$\text{O}_2 = a'QS_r + b'VX_v$$

式中 O_2 ——混合液每日需氧量, kg O_2/d ;

a' ——氧化每千克 BOD 需氧质量, kg $\text{O}_2/\text{kg BOD}$, 一般取 0.42~0.53 (实验系数);

b' ——污泥自身氧化需氧率, kg $\text{O}_2/(\text{kg MLVSS} \cdot \text{d})$ 一般取 0.188~0.11 (实验系数)。

按参考资料:

$$\text{石油化工废水} \quad a' = 0.75 \quad b' = 0.16$$

$$\text{生活污水} \quad a' = 0.42 \quad b' = 0.12$$

按照两种废水所占比例, 计算出平均数:

$$a' = 0.75 \times 0.8 + 0.42 \times 0.2 \approx 0.7$$

$$b' = 0.16 \times 0.8 + 0.12 \times 0.2 \approx 0.15$$

$$\begin{aligned} R = \text{O}_2 &= a'QS_r + b'VX_v = 0.7 \times (0.35 - 0.3) \times 2500 \times 24 + 0.15 \times 2.4 \times 22500 \\ &= 13450 + 8100 = 21550 (\text{kg O}_2/\text{d}) = 900 \text{kg O}_2/\text{h} \end{aligned}$$

平均每去除 1kg BOD_5 需氧量为:

$$21550 / (0.35 - 0.03) \times 60000 \approx 1.1 (\text{kg O}_2/\text{kg BOD}_5)$$

考虑在最不利的条件下运转, 最大需氧量为平均需氧量的 1.5 倍, 则最大需氧量为:

$$900 \times 1.5 = 1350 (\text{kg O}_2/\text{h})$$

b. 供氧量的计算:

水温为 30℃ 时 (按最不利的条件时计算)

清水饱和溶解氧 $C_s = 7.63 \text{mg/L}$; 20℃ 时 $C_s = 9.17 \text{mg/L}$

曝气池中剩余溶解氧 $C_L = 2.0 \text{mg/L}$

废水与清水氧总转移系数 K_{La} 之比 $\alpha = 0.8$

废水与清水饱和溶解氧之比 $\beta = 0.9$

曝气机械在 20℃ 清水中充氧量 N_0 $[\text{kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{h})]$

曝气机械在 30℃ 污水中充氧量 N $[\text{kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{h})]$

曝气池容积 V (m^3)

$$VN = N_0 V [(\beta C_s - C_L) / 9.17] \times 1.02^{t-20} \alpha$$

$$= N_0 V [(0.9 \times 7.63 - 2) / 9.17] \times 1.02^{t-20} \times 0.8 \approx 0.52 N_0 V$$

曝气机械在 30℃ 污水中充氧量要大于或等于生化系统中需氧量, 故:

$$VN \geq 21550 \text{ kg O}_2/\text{d} \text{ 或 } 900 \text{ kg O}_2/\text{h}; \text{ 最大需氧量时 } \geq 1350 \text{ kg O}_2/\text{h}$$

由此可推算出要求曝气机械在 20℃ 清水中充氧量为:

$$\text{在平均需氧量时} \quad 900 / 0.52 = 1730 (\text{kg O}_2/\text{h})$$

$$\text{在最大需氧量时} \quad 1350 / 0.52 = 2600 (\text{kg O}_2/\text{h})$$

选用泵型 E 表曝机 ($\phi 1800$), 当叶轮线速度 V 为下值时的充氧量如下:

$$V = 4.5 \text{ m/s} \quad N_0 = 74 \text{ kg O}_2/\text{h} \quad W = 28 \text{ kW}$$

$$V = 5.2 \text{ m/s} \quad N_0 = 111 \text{ kg O}_2/\text{h} \quad W = 42 \text{ kW}$$

选用泵型 E 表曝机 ($\phi 1800$) 24 台。

c. 供气量的计算:

若选用微孔曝气器, 氧转移效率 (E_A) 为 20%。铺设在距池底 0.2m 处, 淹没水深 4.5m, 水温 30℃。其它参数同前。

i. 空气扩散口处绝对压力

$$p_b = 1.013 \times 10^5 + 9.8 \times 10^3 \times H = 1.013 \times 10^5 + 9.8 \times 10^3 \times 4.5 = 1.454 \times 10^5 \text{ (Pa)}$$

ii. 空气离开水面时氧的百分比:

$$Q_t = [21 \times (1 - E_A)] / [79 + 21 \times (1 - E_A)] \times 100\%$$

$$= [21 \times (1 - 0.2)] / [79 + 21 \times (1 - 0.2)] \times 100\% = 17.54\%$$

iii. 曝气池混合液平均氧饱和度:

$$C_{sb} = C_s [p_b / (2.026 \times 10^5) + Q_t / 42] = 7.63 \times [1.454 \times 10^5 / (2.026 \times 10^5) + 17.54 / 42]$$

$$= 8.66。$$

换算成 20℃ 脱氧清水中充氧量为:

$$R_o = RC_{s(20)} / \{ \alpha [\beta C_{s(T)} - C] \times 1.024^{T-20} \} = 900 \times 9.17 / [0.8 \times (0.9 \times 8.48 - 2) \times 1.024^{10}]$$

$$= 8253 / (4.5 \times 1.267) = 1447.5 (\text{kg O}_2/\text{h});$$

iv. 相应的最大需氧量为:

$$1447.5 \times 1.5 = 2171.25 (\text{kg O}_2/\text{h});$$

v. 曝气池平均时供气量:

$$G_s = (R_o / 0.3 E_A) \times 100 = [1447.5 / (0.3 \times 20)] \times 100 = 24125 (\text{m}^3/\text{h}) = 402.8 (\text{m}^3/\text{min})$$

vi. 曝气池最大时供气量:

$$G_s = (R_o / 0.3 E_A) \times 100 = [2171.25 / (0.3 \times 20)] \times 100 = 36187.5 (\text{m}^3/\text{h}) = 603.125 (\text{m}^3/\text{min})$$

⑤ 剩余污泥量的计算: 按下式进行计算:

$$W = aQS_r - bVX_v$$

式中 W ——系统每日排除剩余污泥量, kg/d ;

Q ——废水设计流量, m^3/d ;

V ——曝气池容积, m^3 ;

X_v ——挥发性污泥浓度 (MLVSS), kg/m^3 ;

a ——污泥增殖系数, 一般 0.5~0.7;

b ——污泥自身氧化率, 一般 0.04~0.1。

根据资料:

石油化工废水 $a = 0.25$ $b = 0.04$

生活污水 $a = 0.5$ $b = 0.03$

按照两种废水所占比例, 计算出平均数:

$$a = 0.25 \times 0.8 + 0.50 \times 0.2 \approx 0.3$$

$$b = 0.04 \times 0.8 + 0.03 \times 0.2 \approx 0.038$$

代入公式得:

$$W = 0.3 \times (0.35 - 0.03) \times 60000 - 0.038 \times 22500 \times 2.4 = 5760 - 2050 = 3710 (\text{kg/d})$$

假设污泥中挥发性污泥固体为 75%, 折算成 MLSS 为: $3710/0.75 = 4950 (\text{kg/d})$;

若污泥相对密度为 1.0, 含水率为 99.7% 时, 污泥体积为: $4950/3 = 1650 (\text{m}^3/\text{d})$;

含水率为 99.7% 时, 污泥体积为: $4950/6 = 826 (\text{m}^3/\text{d})$; 取 $900 \text{m}^3/\text{d}$;

经推算, 污泥在生化系统中的平均停留时间, 即污泥泥龄, 大于 3d。

每去除 1.0kg BOD_5 产生污泥量为:

$$4950 / [(0.35 - 0.03) \times 60000] = 0.26 (\text{kg MLVSS/kg BOD}_5)。$$

⑥ 曝气池营养料的计算:

生化系统内所需养料, 按 $\text{BOD} : \text{N} : \text{P} = 100 : 5 : 1$ 计算。

需氮量为 $(0.35 - 0.03) \times 60000 \times 5\% = 960 (\text{kg/d})$

需磷量为 $(0.35 - 0.03) \times 60000 \times 1\% = 192 (\text{kg/d})$

进入曝气池中, 生活污水量约 $440 \text{m}^3/\text{h}$, 生活污水中含氮及磷一般为:

含氮 $39.8 \sim 45.1 \text{mg/L}$ 取 42mg/L

含磷 $8.5 \sim 18.2 \text{mg/L}$ 取 12mg/L

生活污水可供氮量为 $440 \times 0.042 \times 24 = 444 (\text{kg/d})$

化工废水中, 有一股含硫酸铵为 3.375mg/L 、流量为 $50.6 \text{m}^3/\text{h}$ 的废水, 硫酸铵含氮量为 21.2%, 则可供氮量为: $50.6 \times 24 \times 3.375 \times 21.2\% = 865 (\text{kg/d})$, 总计供氮量为: $444 + 865 = 1309 (\text{kg/d}) > 960 \text{kg/d}$, 故废水中含氮量可满足要求。

化工废水中, 含磷量为: $440 \times 24 \times 0.012 = 127 (\text{kg/d}) < 192 \text{kg/d}$, 需另外补充, 补充量为:

$$192 - 127 = 65 (\text{kg/d})$$

拟投入磷酸氢二钠 ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$); 则需投入磷酸氢二钠为:

$$65 \times [(23 \times 2 + 1 + 31 + 16 \times 4 + 12 \times 18) / 31] = 750 (\text{kg/d})$$

磷酸氢二钠纯度为 97%, 故需磷酸氢二钠量:

$$750 / 0.97 = 775 (\text{kg/d})$$

取 800kg/d 。

⑦ 曝气池结构尺寸的计算:

a. 曝气池座数 曝气池总体积为 22500m^3 , 水深 4.5m; 所需面积为: $22500/4.5 = 5000 (\text{m}^2)$, 分 4 只池, 每只池面积: $5000/4 = 1250 \text{m}^2$, 设池宽 14.5m, 则池长 $1250/14.5 = 86.3 (\text{m})$, 取 87m。长宽比 (L/B) $87/14.5 = 6$, 符合规定 $L \geq (5 \sim 10) B$; 宽深比 (B/H) $14.5/4.5 = 3.2$ (一般要求小于 2)。

b. 进水方式 为使曝气池在运行中具有一定灵活性, 在进水方式设计上, 采用以下四种型式:

- i. 从池首进水, 按推流式传统活性污泥法的工艺流程运行;
- ii. 沿配水槽分散多点进水, 按阶段曝气法的工艺流程运行;
- iii. 沿配水槽集中从池子中部某点进水, 按生物吸附法的工艺流程运行;
- iv. 沿配水槽分散多点进水、出水, 按完全混合法的工艺流程运行。

4 只池分两组, 每组两池, 每组合用一条进水槽和回流污泥槽。每座曝气池, 设有 6 只进水和进泥口, 并设相应的 6 只出口, 为考虑清洗及培养活性污泥方便, 每座曝气池长度的一半处,