

◎ 周迟骏 主编

环境工程设备 设计手册



HUANJING GONGCHENG SHEBEI
SHEJI SHOUCHE



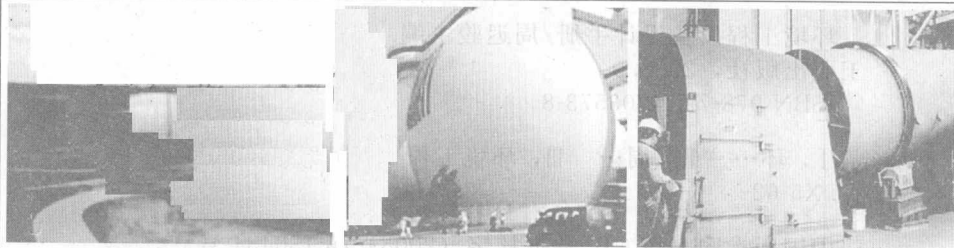
化学工业出版社

周迟骏主编

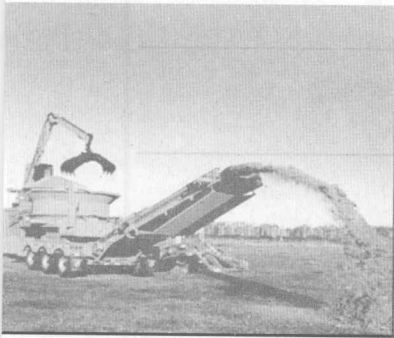
环境工程设备

设计手册

附录 (VI) 目录表五并图



HUANJING GONGCHENG SHEBEI
SHEJI SHOUCHE



化学工业出版社

· 北京 ·

· 100008 · 信箱 518

内容审查 青里野

本书以环境工程单元设备为主线，兼顾实用性和理论性，通过大量设计实例和若干典型设备进行较细致的分析，使读者能够掌握其设计思想，为创造性的工作打下基础。同时适当介绍一些国内外新技术、新设备，以起到开拓思路的作用。

本书适用于环保设备设计、施工、使用的技术人员阅读，也适合环境、化工等相关专业的大专院校师生在教学实践环节参考。

环境工程设备设计手册

周迟骏主编

图书在版编目 (CIP) 数据

环境工程设备设计手册/周迟骏主编. —北京: 化学工业出版社, 2008.9
ISBN 978-7-122-03573-8

I. 环… II. 周… III. 环境工程-设备-技术手册
IV. X5-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 130434 号

责任编辑: 徐娟
责任校对: 战河红

文字编辑: 管景岩 郑直
装帧设计: 韩飞

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: 大厂聚鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市延风装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 24½ 字数 731 千字 2009 年 1 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: 80.00 元

版权所有 违者必究

京化广临字 2008—35 号

前 言

环境保护关系到国计民生,是我国的基本国策之一。目前,我国专业从事环境工程设备生产的企业发展很快,许多理工院校也相继设立环境保护相关专业,而环境工程设备的设计在环境保护事业中是必不可少的。

环境保护中的污染源千变万化,治理工程所用的设备更是数不胜数,如果将它们一一列出,既无可能,也无必要。本书以单元设备为主线来适应污染源的变化,例如泡沫设备,既可以除尘也可以脱硫,但由于是同一种设备,设计方法基本相同。本书在编写时兼顾实用性和阅读性,通过大量设计实例和若干典型的设备进行较细致的分析,使读者能够掌握其设计思想,为创造性的工作打下基础。同时适当介绍一些国内外新技术、新设备,希望能够起到开拓思路的作用。

结构分析是本书的重要内容之一,设备的性能在很大程度上依赖于结构上的合理性,然而结构欲求合理,必先明了其为之服务的工艺情况。例如,燃烧反应和生化反应治理污染,由于它们的工艺条件相差甚远,故设备的结构也就很不相同。另一方面,复杂多变的各种结构设计中,也有共同的原则可循,这就是所谓的“三传一反”(动量、质量、热量传递和反应工程)过程。“三传一反”原理的应用,将使设计水平大大提高。

固体废物处理设备一篇涉及机械、市政环卫等领域,重点放在设备的工作原理分析,对于环境工程设备设计人员能合理选型,而对于机械、市政工程设计者则能据此设计出实用的环境工程装置。为了适应建设生态农业的需要,本书还较为详细地介绍了农村沼气池的建造,以飨广大农民朋友。

设计参数的求取是设计工作中较困难的第一环,尤其对于初学者,往往感到无从下手。本书以较大篇幅介绍了测定仪器使用中应注意的问题。例如,测定不规则形状的颗粒粒径,并非仪器越高级越好。在旋风分离器的设计中,昂贵的库尔特粒度仪测定的结果远不如简便的沉降天平。此外,很多设计参数需要建立小试设备测定,这方面本书在生化法污水处理设备设计中介绍了一些小试的设计原则。这些原则对于其他设备的设计参数测定也同样适用。

公式的使用也是设计中比较困难的,对于理论公式一般均做一些假设以简化推导;而经验公式适用面一般很有限;更高一些的要求是能灵活运用现有的公式,例如用标准旋风分离器推导出的临界粒径计算公式来计算轴向进风的旋风分离器。本书通过具体设计实例,将编者的设计经验和心得奉献给读者,以求抛砖引玉之效。

关于机械强度的计算,本书在吸收塔一节中介绍了筒体设备(环保设备中最常见的设备)的计算方法,这些方法也可用于其他筒体设备。

全书由周迟骏主编,其中1.4.4、2.5、4.3.3~4.3.5、4.4由杜艳编写,2.3.3、2.4.3、2.4.4由罗平编写,其余由周迟骏编写。

本书编写参考了大量文献资料及图表,限于篇幅,没有一一标注来源,只在书后列出主要参考文献。在此,编者深表感谢!

编者集20年教学、科研经验,在化学工业出版社的大力支持下,对手册的编写思路及具体细节反复推敲,才得以完成本书,但由于编者水平所限,欠妥之处在所难免,敬请读者不吝指教。

编 者

2008年3月

于南京工业大学

目 录

第 1 篇 水处理工程及设备

第 1 章 物理化学法废水处理设备	2	1.6.2 固定床吸附塔	66
1.1 预处理装置	2	1.6.3 离子交换吸附塔	69
1.1.1 格栅的工艺设计	3	第 2 章 生物化学法废水处理设备	73
1.1.2 调节池的设计	5	2.1 微生物的特点	73
1.2 沉淀池的设计	7	2.1.1 废水处理中使用的微生物	73
1.2.1 沉淀类型	7	2.1.2 微生物生存条件	74
1.2.2 沉淀试验与设计参数的求法	7	2.2 好氧活性污泥法处理设备	74
1.2.3 平流式沉淀池的设计	10	2.2.1 基本流程	74
1.2.4 竖流式沉淀池的设计	15	2.2.2 设计参数的确定	75
1.2.5 辐流式沉淀池的设计	16	2.2.3 曝气池的结构	78
1.2.6 斜流式沉淀池的设计	18	2.2.4 曝气池的类型	78
1.3 混凝装置	20	2.2.5 活性污泥法的设计计算	83
1.3.1 混凝剂的配制和投加设备	20	2.3 好氧生物膜法废水处理设备	91
1.3.2 混合设备	22	2.3.1 生物滤池	92
1.3.3 反应设备	23	2.3.2 生物转盘	96
1.4 过滤	31	2.3.3 生物接触氧化设备	97
1.4.1 滤池的形式和选择	31	2.4 厌氧生化处理设备	111
1.4.2 普通滤池的构造和设计	32	2.4.1 污泥消化设备	111
1.4.3 其他类型的滤池	38	2.4.2 高浓度污水的厌氧生化处理	114
1.4.4 膜过滤设备综述	40	2.4.3 升流式厌氧污泥床反应器	116
1.5 气浮	55	2.4.4 水解酸化池设计	127
1.5.1 气浮设备的形式	55	2.5 膜生物反应器	129
1.5.2 加压溶气气浮系统的设计计算	58	2.5.1 常用膜组件和性能及选用	129
1.6 吸附设备	62	2.5.2 膜组件与生物反应器的组合	130
1.6.1 接触过滤式吸附器	62	2.5.3 动态膜生物反应器简介	135

第 2 篇 大气污染控制工程设备

第 3 章 非均相气体的净化设备	140	3.1.7 排尘装置	156
3.1 旋风分离器	141	3.1.8 材料的选择	158
3.1.1 标准型旋风分离器的设计程序	142	3.1.9 保温措施	158
3.1.2 设计条件的确定	143	3.1.10 常用旋风分离器的结构及参数	166
3.1.3 旋风分离器进口气速的确定	152	3.1.11 用于某燃煤锅炉烟气除尘的设计实例(多管除尘器)	172
3.1.4 旋风分离器几何参数的确定	152	3.1.12 旋风除尘器设计进展	176
3.1.5 旋风分离器的压力损失	153	3.2 袋式过滤除尘器	178
3.1.6 临界直径的计算	153		

3.2.1	气-布率	179	4.1.1	吸收液	226
3.2.2	滤袋及其材料	180	4.1.2	填料	227
3.2.3	布袋除尘器的分类	181	4.1.3	填料选择	229
3.2.4	袋式除尘器的部件设计	181	4.1.4	液体分布装置	229
3.2.5	袋式除尘器进展	184	4.1.5	填料的支承装置	232
3.3	文丘里除尘器	185	4.1.6	填料层高度	234
3.3.1	文丘里管设计参数	185	4.1.7	填料塔直径	236
3.3.2	文丘里涤气器的结构	187	4.1.8	液体的最小喷淋密度	238
3.3.3	工业上的应用	189	4.1.9	接管	239
3.4	泡沫除尘器	189	4.1.10	填料塔用金属材料	239
3.4.1	泡沫状态	189	4.1.11	塔身(筒体)壁厚的确定	240
3.4.2	泡沫设备的结构设计	190	4.2	吸附塔	249
3.4.3	筛板的流体阻力	195	4.2.1	吸附剂	249
3.4.4	供水量的计算	196	4.2.2	吸附剂参数测定	253
3.4.5	泡沫除尘器净化烟气设计实例	197	4.2.3	吸附塔的大小尺寸	258
3.5	除雾器	199	4.2.4	再生剂的选择	264
3.5.1	折板除雾器	199	4.3	化学反应器	264
3.5.2	丝网除雾器	202	4.3.1	燃烧反应器	265
3.5.3	旋流板除雾器	203	4.3.2	气-液相化学反应器	268
3.5.4	孔板除雾器	205	4.3.3	光催化反应器	276
3.6	电除尘器	209	4.3.4	低温等离子体废气处理装置	281
3.6.1	电除尘器的工作原理	209	4.3.5	生物化学反应器	295
3.6.2	电除尘器的参数	210	4.4	室内空气净化器	299
3.6.3	电除尘器的结构	216	4.4.1	微粒捕集技术	299
3.6.4	电除尘器的供电	221	4.4.2	吸附净化方法	304
3.6.5	附属设备	223	4.4.3	非平衡等离子体净化方法	307
3.6.6	电除尘器的设计和选型	223	4.4.4	光催化净化方法	311
第4章 均相废气处理装置		226	4.4.5	负离子净化方法	311
4.1	填料塔	226	4.4.6	臭氧净化方法	313

第3篇 固体废物的处理设备

第5章 固体废物的破碎、压实和分选设备

5.1	破碎设备	318
5.1.1	颚式破碎机	318
5.1.2	锤式破碎机	322
5.1.3	冲击式破碎机	326
5.1.4	辊式破碎机	327
5.1.5	盆式破碎机	329
5.2	压实设备	331
5.2.1	压实器的分类	331
5.2.2	压实器的选择	332
5.3	压实机	333
5.3.1	压实机的种类	333

5.3.2	压实机选择	334
5.4	分选设备	334
5.4.1	筛分设备	334
5.4.2	重力分选设备	339
5.4.3	磁力分选设备	343
5.4.4	电力分选机	344
5.4.5	浮选机	345
5.4.6	其他分选机	346

第6章 固体废物的焚烧设备

6.1	流化床焚烧炉	350
6.1.1	概述	350
6.1.2	道尔-奥利弗 (Dorr-Oliver) 流化床焚烧炉	352

6.1.3 考可兰 (Copeland) 式流化床 焚烧炉	352	6.4.2 两步法固体废物气化熔融 技术	360
6.1.4 回旋型流化床焚烧炉	353	6.4.3 固体废物直接气化熔融焚烧 技术及工艺设备	362
6.2 炉排式焚烧炉	354	6.5 耐火材料	363
6.2.1 炉排	355	第7章 农村沼气发酵装置	367
6.2.2 炉排式焚烧炉实例	356	7.1 沼气产生的基本原理	367
6.3 回转窑式焚烧炉	357	7.2 发酵装置	368
6.3.1 回转窑式焚烧炉基本结构和 原理	357	7.2.1 水压式沼气池	368
6.3.2 回转窑式焚烧炉处理危险废物的 实例	359	7.2.2 水压式沼气池的改进	371
6.4 热解式气化熔融焚烧炉	359	7.3 浮罩式沼气池	372
6.4.1 概述	359	7.4 建池材料的选用	373
附录	374		
(一) 除尘设备性能及选用	374		
(二) 填料性能规格	374		
(三) 吸附剂特性及规格	379		
(四) 钢板和钢管的机械性能	382		
参考文献	383		

物理化学水污染控制工程 第一章

主要内容：水污染控制工程概论，水污染控制工程的发展，水污染控制工程的任务，水污染控制工程的原则，水污染控制工程的分类，水污染控制工程的设计，水污染控制工程的运行，水污染控制工程的维护，水污染控制工程的更新。

第 1 篇 水处理工程及设备

工厂和城市排出的大量生活污水和工业废水所含污染物种类繁多，其物理和化学性质各不相同，处理方法也多种多样，主要分为物理法、化学法和生物法三类。

01-63	02-8	03-15	04-22	05-30
06-38	07-45	08-52	09-60	10-68
11-75	12-82	13-90	14-98	15-105

物理法：利用物理作用分离和去除污水中污染物的方法。包括筛滤截留、重力分离、离心分离、反渗透、气浮等。物理法处理构筑物较简单、造价低，但只能处理废水的可浮物、悬浮物、油类等，而对溶解性污染物不能去除。物理法常作为污水处理的第一道工序，与化学法、生物法联合使用。

物理法简介

物理法处理污水，主要是利用物理作用分离和去除污水中污染物的方法。物理法处理污水，具有操作简单、投资少、运行费用低等优点。物理法处理污水，主要适用于处理含有悬浮物、油类等污染物的污水。物理法处理污水，通常作为污水处理的第一道工序，与化学法、生物法联合使用。

第1章 物理化学法废水处理设备

通常将既有物理作用又有化学作用的方法称为物理化学法。表 1-1 是物理化学法的主要单元处理方法及大致处理效果。

表 1-1 物理化学法的主要单元处理方法及处理效果

处理方法	处理对象	主要设备	处理效果/%	
			SS	BOD ₅
调节和均合	均衡水质、水量及水温变化	调节池或均合池	—	—
沉淀或上浮	悬浮物或含油废水	沉砂池、沉淀池	35~65	25~40
		隔油池		
过滤	悬浮物	格栅、筛网	细筛网 5~20	25~40
		砂滤器、微孔管	砂滤 90~95	85~90
混凝	胶体物质	反应池	75~90	75~90
浮选	油粒、纤维等	释放器	—	—
(气浮、泡沫浮选和分离)	悬浮颗粒等	浮选池	—	—
离子交换	有害离子	各类阴、阳离子交换树脂，螯合树脂交换柱	—	—
吸附	不易处理的有毒物或有机物	各类吸附剂、吸附柱	—	>90

在选择处理过程及设备时，应主要考虑下面的因素。

① 废水特征，主要是指污染物的形态，即是悬浮的、胶态的还是溶解的，可生化性以及有机和无机组分的毒性。

② 出水的要求，处理后出水要估计到今后可能的限制。

③ 技术与设备情况，一个或多个处理过程的组合能达到预定的废水处理效果，还要比较装置占地面积、建设费用和运转费用（动力、药剂、劳力）、维护管理难度、污泥量及污泥处理的难度、厂家实力（技术能力、信誉、服务质量、成就）等。

1.1 预处理装置

一般的生活污水和工业生产废水均含有悬浮物质，由于废水来源广泛，废水中悬浮物质含量的变化范围很大，从每升中含有几十、几百毫克，直到几千甚至上万毫克。为了保护后续处理设施能正常运行，以及降低其他处理设施的处理负荷，通常在废水进行生物处理或化学处理之前将这些悬浮物尽可能地用简单的物理方法予以去除，即进行预处理，内容包括：格栅、筛网、初沉池、调节池等。

1.1.1 格栅的工艺设计

格栅是一组（或多组）相平行的、用金属栅条制成的框架，斜置在进水流经的渠道中或泵站集水池的进口处，用以截留大块的呈悬浮或漂浮状态的污染物。

格栅所能截留污染物的数量，或格栅的去除效率，主要取决于所选栅条间距和水的性质。

对于城市污水，栅条间距一般采用 16~25mm。用格栅处理生活污水的污染物截留量是按人口计算的。在泵站前，当污水提升泵用 PW 型或 PWL 型污水泵时，格栅的栅条间距及所截留污染物的数量可按表 1-2 选用。

表 1-2 格栅栅条间距与截留污染物数量

污水泵型号	栅条间距/mm	截留污物量/[L/(人·年)]
2 $\frac{1}{2}$ -PW, 2 $\frac{1}{2}$ -PWL	≤20	4~6
4PW, 4PWL	≤40	2.7
6PWL	≤70	0.8
8PWL	≤90	0.5

格栅栅条的断面形状，可参照表 1-3 选用。圆形断面栅条的水力条件好，水流阻力小，但刚度稍差，一般都采用断面为矩形的栅条。

截留在格栅上污物的清除方法，有人工清除和机械清除两种。图 1-1 所示是人工清除污物的格栅示意。

为了防止栅条间隙堵塞，废水通过栅条间隙的流速不应小于 0.8~1.0m/s。

为了防止栅前管道渠内水面出现阻回流现象，放置格栅的渠道与栅前渠道联结的展开角度 α' 应为 20° ，从而可得栅前渠道扩大段长度 l_1 为：

$$l_1 = \frac{l_p - l_k}{2 \tan \alpha'} = 1.37(l_p - l_k) \quad (1-1)$$

式中 l_p ——栅前宽度，m；

l_k ——栅室前后管渠宽度，m。

栅后渠道渐缩长度取 $l_2 = 0.5l_1$ 。

格栅水力计算的主要内容是污水流经格栅阻力损失的计算。对此可用以下公式计算。

$$h_1 = kh_p \quad (1-2)$$

式中 h_1 ——格栅前后水位落差，m；

h_p ——设计水头损失，m，一般取 0.10~0.15m；

k ——格栅阻力增大系数，可由经验式 (1-3) 求定。

$$k = 3.36v - 1.32 \quad (1-3)$$

式中 v ——格栅间隙过水速度，m/s。

设水头损失 h_p ，则：

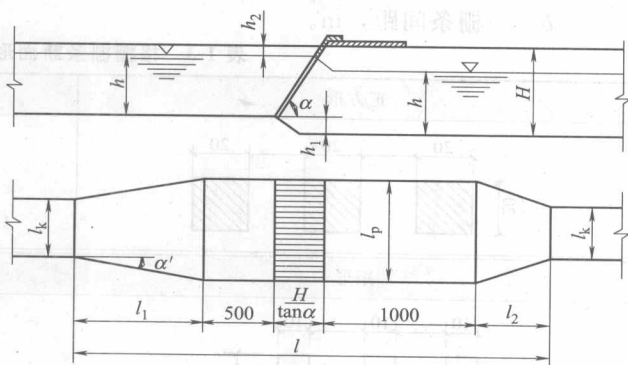


图 1-1 人工清除污物的格栅

$$h_p = \xi \frac{v^2}{2g} \quad (1-4)$$

式中 g ——重力加速度, m/s^2 ;

ξ ——栅条间隙局部阻力系数, 可按表 1-4 所列数据选用。

栅后槽底的高程应比栅前槽底下落 h_1 , 为了简化计算, 在工程上 h_1 值可按经验采取 10~15cm。阻力增大系数 k 值可选 2~3。

格栅间隙数目 n , 可按下式求得:

$$n = \frac{Q_{\max} \sqrt{\sin \alpha}}{bhv} \quad (1-5)$$

式中 Q_{\max} ——最大设计流量, m^3/s ;

b ——栅条间距, m ;

h ——栅前水深, m ;

v ——污水流经格栅流速, m/s 。

格栅设计宽度 B 的计算公式如下:

$$B = s(n-1) + bn \quad (1-6)$$

式中 s ——栅条宽度, m ;

b ——栅条间距, m 。

表 1-3 格栅栅条断面形状及尺寸

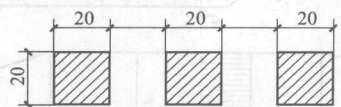
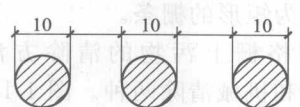
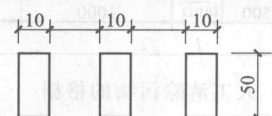
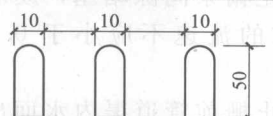
正方形	圆形
	
矩形	带半圆形的矩形
	

表 1-4 格栅栅条间隙的局部阻力系数 ξ

栅条断面形状	公式	说明
矩形	$\xi = \beta \left(\frac{s}{b} \right)^{4/3}$	$\beta = 2.42$
带半圆形的矩形		$\beta = 1.83$
圆形		$\beta = 1.79$
正方形	$\xi = \left(\frac{b+s}{\xi b} - 1 \right)^2$	收缩系数 ξ 取 0.64

【例 1-1】 格栅与栅槽设计。废水最大流量 $Q_{\max} = 200L/s$, 格栅栅条断面采用矩形, 格栅前水深 $h = 0.4m$, 通过格栅流速 $v = 1.0m/s$, 栅条间距 $b = 20mm$, 格栅设置与水平成 60° , 栅条宽度 $s = 10mm$, 栅槽前后进出水渠道宽 $l_s = 0.5m$, 展开角度 $\alpha' = 20^\circ$ 。

① 栅条的间隙数量 n

$$n = \frac{Q_{\max} \sqrt{\sin \alpha}}{bhv} = \frac{0.2 \sqrt{\sin 60^\circ}}{0.02 \times 0.4 \times 1} = 22 \text{ 个}$$

② 格栅的设计宽度 B

$$B = s(n-1) + bn = 0.01 \times (22-1) + 0.02 \times 22 = 0.65m$$

③ 栅前渠道扩大段的长度 l_1

$$l_1 = \frac{l_p - l_k}{2 \tan \alpha} = 1.37 \times (0.65 - 0.5) = 0.21 \text{m}$$

④ 栅槽与出水渠道连接处的渐宽部分长度 l_2

$$l_2 = 0.5l_1 = 0.105 \text{m}$$

⑤ 通过格栅水头损失计算

$$\xi = \beta \left(\frac{s}{b} \right)^{4/3} = 2.42 \times \left(\frac{0.01}{0.02} \right)^{4/3} = 0.96$$

取 $k=3$, 则:

$$h_1 = k\xi \frac{v^2}{2g} = 3 \times 0.96 \times \frac{1.0^2}{2 \times 9.8} = 0.147 \text{m}$$

⑥ 栅室总高度 H

$$H = h + h_1 + h_2$$

设超高 $h_2 = 0.3 \text{m}$, 则:

$$H = h + h_1 + h_2 = 0.4 + 0.147 + 0.3 = 0.85 \text{m}$$

⑦ 栅室总长 l

$$l = l_1 + l_2 + 1.0 + 0.5 + \frac{h + h_2}{\tan \alpha} = 0.21 + 0.105 + 1.0 + 0.5 + \frac{0.4 + 0.3}{\tan 60^\circ} = 2.22 \text{m}$$

1.1.2 调节池的设计

无论是工业污水还是城市污水, 水量和水质随时都有变化。工业废水的波动比城市污水大, 水量和水质的变化将严重影响水处理装置的正常工作。为了解决这一矛盾, 在水处理系统前一般都要进行水量和水质的调节。

调节的方法比较简单, 一般可根据工厂的排水情况建一个调节池。这个池既可用于调节水量, 又可用于调节水质, 同时还可以对酸碱废水进行中和, 短期排出的高温水, 可利用调节池进行水温调节。

调节池在结构上可分为砖石结构、混凝土结构、钢制结构。

调节池的形状很多, 有圆形的、方形的, 有地上的, 也有地下的。

调节池如系单纯用于水量调节, 原则上任何形状均可应用, 一般都是在出水口上控制水量。如果除了水量调节外, 还需进行水质调节, 则简单一些的可在池内装混合装置, 下面是混合的几种形式和优缺点。

① 水泵强制循环。这种混合方式调节池结构简单, 但耗电多, 很少采用。

② 空气搅拌。这种混合方式还兼有预曝气的作用, 工程上较为常用, 但是管道长期浸没在废水中, 管道易腐蚀, 维修困难。

③ 机械搅拌。这种混合方式需要添加搅拌设备, 腐蚀大, 耗能高。

④ 水力混合。现在常用的是利用调节池的特殊形式进行差时混合。如对角线出水调节池、矩形折流式调节池等都属于这种混合形式, 它能克服上述 3 种形式的缺点, 但混合的均匀程度不够稳定。这种调节池主要是由进水口、配水槽、隔板、水池、泥斗和出水口等组成。

调节池设计计算的主要内容是确定调节池的容积, 欲计算调节池的容积首先需要确定出调节时间。

调节时间的确定可分为下面两种情况分析。

① 当来水水质变化具有周期性时, 应采用调节时间等于变化周期, 调节容积能够容纳水质变化一个周期所排放的全部水量, 可以保证出水基本均匀。

② 若废水流量变化是非周期性的，调节时间 T 应以必须达到要求的均合浓度为依据，经过平衡计算确定。具体计算方法是：首先假定一调节时间，计算不同时段拟订调节时间内的废水平均浓度，如最高峰平均浓度大于要求的均合浓度，则应增大调节时间，直到满足要求为止。如计算出初拟调节时间的平均浓度过小，则可重新假定较小的调节时间再做计算。求出调节时间后，调节池有效容积 V 可用下式计算：

$$V = qT = \sum_{i=1}^n q_i t_i \quad (1-7)$$

- 式中 T ——调节时间，h；
- q —— T 小时内废水平均流量， m^3/h ；
- q_i ——瞬时流量， m^3/h ；
- n —— T 小时内时段数；
- t_i ——各时段时间，h，其总和为 T 。

调节池出水浓度 c_m 为：

$$c_m = \frac{\sum_{i=1}^n c_i q_i}{W} \quad (1-8)$$

- 式中 c_i ——相应于瞬时流量 q_i 的污染物质浓度；
- W —— T 小时内流入调节池的废水量， m^3 。

如采用对角线出水的调节池形式，容积按下式计算。

$$V = \frac{1}{1.4} \sum_{i=1}^n q_i \quad (1-9)$$

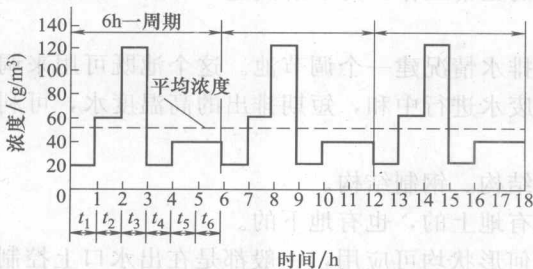


图 1-2 废水浓度变化曲线

【例 1-2】 调节池的工艺设计。某工厂所排废水流量为 $150m^3/h$ ，污染物浓度逐时变化曲线如图 1-2 所示。

由图 1-2 可看出，废水浓度变化有周期性，周期为 6h，调节时间应等于周期时间， $T=6h$ ，在此调节时间下废水平均浓度为：

$$c = \frac{\sum_{i=1}^6 c_i q_i}{\sum q_i}$$

在 $q_1 = q_2 = \dots = q_6 = q$ 的情况下：

$$c = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 c_i = \frac{20 + 60 + 120 + 20 + 40 + 40}{6} = 50mg/L$$

采用对角线出水的调节池，池容积为：

$$V = \frac{1}{1.4} \sum_{i=1}^n q_i = \frac{150 \times 6}{1.4} = 643m^3$$

调节池的面积为：

$$A = \frac{V}{H} = \frac{643}{2} \approx 322m^2$$

如采用分格数 $n=10$ ，每格宽为 1m，池长应为：

$$L = \frac{322}{10 \times 1} \approx 32m$$

将调节池做成平底，用压缩空气搅拌废水，防止沉淀。空气用量为 $1.5 \sim 3 \text{ m}^3 / (\text{m}^3 \cdot \text{h})$ ，本设计取空气用量为 $1.5 \text{ m}^3 / (\text{m}^3 \cdot \text{h})$ ，则所需空气量为：

$$G = 1.5 \times 322 = 483 \text{ m}^3 / \text{h}$$

根据风量和风压可选择鼓风机。

1.2 沉淀池的设计

沉淀是水处理中最基本的方法之一。它是利用水中悬浮颗粒的可沉淀性能，在重力场的作用下产生下沉，以达到固液分离的一种过程。这种工艺简单易行，应用非常广泛，可以是整个水处理过程中的某一工序，亦可以作为唯一的处理方法。

1.2.1 沉淀类型

根据水中悬浮颗粒的凝聚性能的强弱、浓度的高低以及可沉颗粒的性质（如密度等），沉淀通常可以分成四种不同的类型。

① 自由沉淀。废水中悬浮固体的浓度不高，而且不具有凝聚性能，在沉淀过程中，固体颗粒互不干扰，其形状、大小及密度等均不发生任何变化。颗粒各自单独进行沉淀。颗粒在沉砂池中的沉淀即属自由沉淀的典型形式。

② 絮凝沉淀。这种类型的沉淀一般发生在水中悬浮颗粒的浓度不高，但具有凝聚性能的情况下。在沉淀过程中，颗粒之间互相聚集增大，加快沉降，沉淀的轨迹呈曲线形状。在整个沉淀过程中，颗粒的密度以及沉速均发生变化。经过化学混凝的水及生活污水在初次沉淀池的后期沉淀过程即属于絮凝沉淀的典型形式。

③ 拥挤沉淀。当污水中的悬浮颗粒浓度比较高时，每个颗粒的沉降都将受到周围其他颗粒的影响，颗粒挤成一团，颗粒群结合为一个整体，各自保持相对不变位置，共同下沉。液体与颗粒群之间，形成清晰的界面。沉淀过程实质上就是这个界面的下降过程。活性污泥法后的二次沉淀池以及污泥浓缩中的初期情况就属于这种类型的典型例子。

④ 压缩沉淀。这种类型的沉淀一般发生在高浓度的悬浮颗粒的沉降过程中，由于悬浮颗粒的浓度很高，颗粒相互之间已挤集成团块状结构，互相接触，互相支撑，沉降过程只是这种团块状结构的进一步压缩，下层颗粒间的液体是由于受到上层呈团块状颗粒的重力作用才被挤出界面，固体颗粒被浓缩。活性污泥在二沉池污泥斗中的浓缩过程以及在浓缩池中污泥的浓缩过程即属于这一类型。

1.2.2 沉淀试验与设计参数的求法

由于水中所含有的可沉悬浮颗粒的性质是千差万别的，不能简单地采用数学方法来描述沉淀过程，在实际设计中，通常采用沉淀试验来观察悬浮颗粒的总体沉淀情况，以判断其沉淀性能和取得有实际使用价值的设计参数。

1.2.2.1 自由沉淀试验及设计参数

沉淀柱是目前测定水中悬浮颗粒的沉淀性能的一种常用设备。通过沉速和沉淀效率的测定，可以将污水的沉淀性能曲线绘制出来。

试验步骤如下。

① 测定并记录原水样中悬浮物的浓度 c_0 。

② 将水样搅拌均匀，并平稳地注满沉淀筒，水深为 H 。

③ 每隔一定的时间取一定体积的水样，测定出悬浮物的浓度。如：在时间为 t_1 时从水深为 H 处取一水样，测出其悬浮物浓度为 c_1 ，则沉速大于 u_1 的所有颗粒一定已通过取样

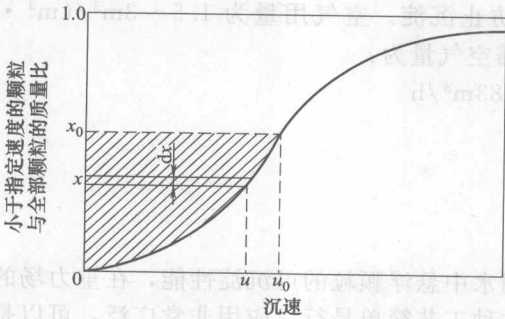


图 1-3 颗粒沉速累计频率分配曲线

点，而残余的颗粒必然具有小于 u_1 的沉速。这样，具有沉速小于 u_1 的颗粒与全部颗粒的比例为 $x_1 = c_1/c_0$ 。在时间为 t_2, t_3, \dots, t_n 时重复上述过程，则具有沉速小于 u_2, u_3, \dots, u_n 的颗粒比例 x_2, x_3, \dots, x_n 也可求得，将这些数据整理可给出如图 1-3 所示的曲线。④ 计算指定沉淀时间 t_0 时的沉淀去除率 E 。对于指定的沉淀时间 t_0 可求得颗粒沉速 u_0 ，沉速 $\geq u_0$ 的颗粒在 t_0 时可全部去除，而沉速 $\leq u_0$ 的颗粒则只有一部分去除，其去除的比例为 h/H ， h 代表在 t_0 时刚好

沉到底部的某种颗粒的沉降距离。

设 x_0 代表沉速 $\leq u_0$ 的颗粒所占百分数，于是在悬浮颗粒总数中，去除的百分数可用 $1 - x_0$ 表示。由于 $\frac{h}{H} = \frac{ut_0}{u_0 t_0} = \frac{u}{u_0}$ ，所以沉速 $\leq u_0$ 的各种粒径的颗粒在 t_0 时间内按 u/t_0 的比例被去除。考虑到各种颗粒粒径时总去除率：

$$E = (1 - x_0) + \frac{1}{u_0} \int_0^{x_0} u dx \quad (1-10)$$

式中第二项可将沉淀分析曲线用图解积分法确定。

⑤ 按上述计算方法可以算出不同沉淀时间下的沉淀去除率，绘制出沉淀时间与去除率或沉速与去除率间的关系曲线，即沉淀性能曲线。

⑥ 由于颗粒沉淀速度与表面负荷率在数值上是完全相同的，所以根据去除率求出对应沉速，即可计算表面负荷率，绘制出表面负荷率与去除率的关系曲线。

⑦ 对某个原始悬浮物浓度，可根据需要的悬浮固体去除率，来选定其表面负荷率和沉淀时间。

⑧ 在实际沉淀池设计中，考虑补偿紊流、短流和进出口损失的影响，所选择的表面负荷率应除以 1.25~1.75 的系数，选择的沉淀时间应乘以 1.5~2.0 的系数。

1.2.2.2 絮凝沉淀试验及设计参数

絮凝沉淀所用的沉淀筒应尽可能与沉淀池在深度上相等，而且在不同高度设有取样口。试验步骤如下。

① 测定并记录原水样中悬浮物的浓度 c_0 。

② 将水样搅拌均匀，注入沉淀筒，然后静置沉淀。在不同的时间段内 (t_1, t_2, \dots, t_n)，从每个取样口取样，分析出每个样品的悬浮物浓度。

③ 计算出各时间段和高度时的去除效率 (按 $E = \frac{c_0 - c}{c_0} \times 100\%$)，将这些去除率点绘于相应的深度与时间的坐标上，绘出如图 1-4 所示的等效曲线。

④ 借助等效曲线可以计算出对应于某一沉淀时间 t_0 (或相应沉速 $u_0 = H/t_0$) 时的悬浮物总去除率，方法可以采用与自由沉淀相似的计算法求得。即沉速 $\geq u_0$ 的颗粒，全部沉淀下来，而沉速 $\leq u_0$ 的颗粒，将按照 $u/u_0 = h/H$ 的比例沉淀下来。按式 (1-11) 可以计算出指定水深不同沉降时间的总去除率：

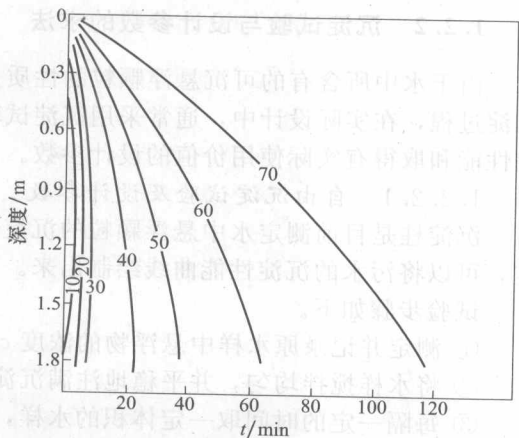


图 1-4 絮凝沉淀的等效曲线

$$E = E_0 + \frac{u_1}{u_0(p_1)} + \frac{u_2}{u_0(p_2)} + \dots + \frac{u_n}{u_0(p_n)} \quad (1-11)$$

$$= E_0 + \frac{h_1}{H_0(p_1)} + \frac{h_2}{H_0(p_2)} + \dots + \frac{h_n}{H_0(p_n)}$$

式中 E_0 ——沉降高度为 H 、沉淀时间为 t_0 时的去除率；

p_1, p_2, \dots, p_n ——沉淀百分数之间的数值差；

h_1, h_2, \dots, h_n ——每一选定间距的平均沉淀深度；

u_1, u_2, \dots, u_n —— h_1, h_2, \dots, h_n 处的颗粒沉速。

⑤ 用式 (1-11) 可算得几个沉淀时间 (或沉速) 下的总去除率, 绘出沉淀性能曲线。

⑥ 在设计中可根据需要去除的悬浮固体总百分率, 来选定其表面负荷率和沉淀时间。考虑到补偿紊流、短流和进出口损失的影响, 所选择的表面负荷率应除以 1.25~1.75 的系数, 沉淀时间应乘以 1.5~2.0 的系数。

【例 1-3】 初沉池设计。某原废水经分析测定平均悬浮固体浓度为 300mg/L, 流量为 4500m³/d, 由实验室沉淀试验所得数据见表 1-5。使其出水中悬浮固体最大浓度为 100mg/L, 并计算出池的尺寸及在污泥浓度为 1.5% 时所去除的污泥量。

① 将表 1-5 的数据绘成如图 1-4 所示的等效曲线, 并算出 7 个不同停留时间的悬浮物去除百分率, 以及相应的沉淀速度和表面负荷率, 将计算结果列于表 1-6。

表 1-5 不同时间、不同深度的去除百分率

单位: %

时间/min	$h_1=60\text{cm}$	$h_2=120\text{cm}$	$h_3=180\text{cm}$	时间/min	$h_1=60\text{cm}$	$h_2=120\text{cm}$	$h_3=180\text{cm}$
5	41	19	16	60	72	62	59
10	55	33	31	90	73	70	63
20	60	43	38	120	76	74	71
40	67	58	54				

表 1-6 计算结果

时间/min	沉淀速度/(m/h)	悬浮固体去除率/%	表面负荷/[m ³ /(m ² ·d)]
5	21.9	33	647.5
7	15.7	34	465
9	12.2	39	360
23	4.8	54	140
38	2.9	52	85.5
63	1.7	69	51.3
116	0.9	72	28

将表 1-6 的计算数据绘制成如图 1-5 和图 1-6 所示的关系曲线。

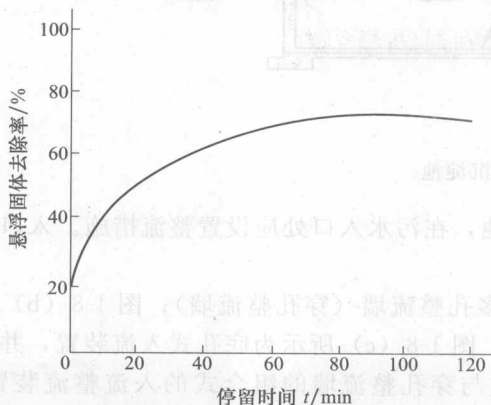


图 1-5 悬浮固体去除率与停留时间的关系曲线

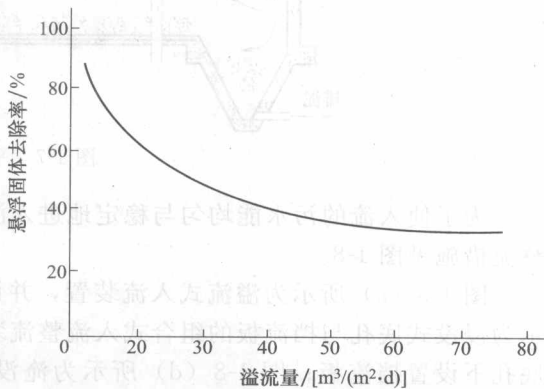


图 1-6 悬浮固体去除率与溢流量的关系曲线

② 需要去除的悬浮固体总去除率

$$E = \left(\frac{300 - 100}{300} \right) \times 100\% = 66.6\% \approx 67\%$$

由图 1-6 得到其理论表面负荷为 $60\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ，在实际使用中，设计表面负荷为：

$$q = \frac{1}{1.5} q_0 = \frac{60}{1.5} = 40\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$$

③ 由图 1-5 得到要求去除 67% 悬浮固体停留时间应为 50min。设计时停留时间应为 $50 \times 1.75 = 88\text{min}$ 。

④ 计算沉淀池有效断面面积

$$A = \frac{Q}{q} = \frac{4500}{40} = 113\text{m}^2$$

⑤ 每日产生污泥量

$$W = Q(c_0 - c) = 4500 \times (300 - 100) \times 10^{-3} = 900\text{kg/d}$$

假设浓缩后的污泥浓度为 1.5%，即污泥含水率 (p) 为 98.5%，污泥容重 (γ) 取 1000kg/m^3 ，则每日产生的湿污泥体积：

$$V = \frac{100Q(c_0 - c)}{\gamma(100 - p)} = \frac{100 \times 4500 \times (300 - 100) \times 10^{-3}}{1000 \times (100 - 98.5)} = 60\text{m}^3$$

1.2.3 平流式沉淀池的设计

沉淀池的设计包括功能设计与构造设计两部分。功能设计是指沉淀池的个数、沉淀区的尺寸和污泥区尺寸的决定。而构造设计是指进水区、出水区和污泥区构造上的设计。

控制沉淀池设计的主要依据是，废水经过沉淀处理后所应达到的去除效率，并以此来确定沉淀池的表面负荷、沉淀时间以及水在池内的平均流速等。

这些参数一般是通过沉淀柱试验取得的，没有条件试验时可参考同类水处理厂的运转数据或取用设计手册上提供的参数。

1.2.3.1 平流式沉淀池的结构设计

平流式沉淀池由进水区、沉淀区、出水区和污泥区四部分组成。图 1-7 是使用比较广泛的一种平流式沉淀池。下面主要介绍平流沉淀池入流装置和出流装置的形式和特点。

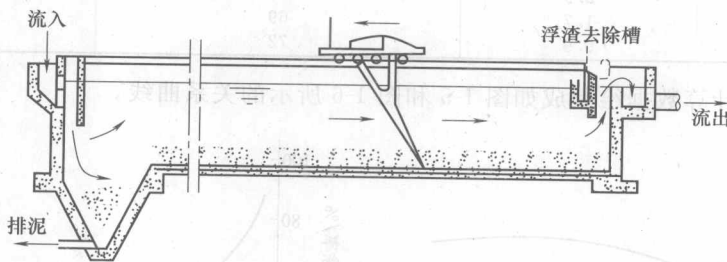


图 1-7 平流式沉淀池

为了使入流的污水能均匀与稳定地进入沉淀池，在污水入口处应设置整流措施。入口的整流措施见图 1-8。

图 1-8 (a) 所示为溢流式入流装置，并设有穿孔整流墙（穿孔整流墙）；图 1-8 (b) 所示为浸没式底孔与挡流板的组合式入流整流装置；图 1-8 (c) 所示为底孔式入流装置，并在底孔下设置挡流板；图 1-8 (d) 所示为淹没孔式与穿孔整流墙的组合式的入流整流装置。穿孔整流墙上的开孔总面积为其断面面积的 6%~20%。在入口处设置挡板和穿孔墙的作用