



“十三五”江苏省高等学校重点教材

# 环保设备

## ——原理·设计·应用

(第四版)

刘宏 主编  
郑铭 主审



化学工业出版社



“十三五”江苏省高等学校重点教材

(编号: 2017-1-061)

# 环保设备

## ——原理·设计·应用

(第四版)

刘宏 主编  
郑铭 主审



化学工业出版社

·北京·

本书着重介绍了污水处理、废气处理、噪声控制等环保设备的原理、设计、运行和管理等知识。每种设备介绍都尽可能结合国内外先进的环保工艺,给出设备特点、适用范围、设计参数、运行原理等知识点,并结合实际提供了部分工程实例。为便于教学参考和学生理解,每章后面均有思考题。为适应新工科人才培养需求,提升学生的工程素质和创新能力,本书设置了独立的课程设计章节。全书文字通俗易懂、图文并茂,在兼顾实用性的同时尽可能准确地体现国内外环境污染治理领域先进技术和发展趋势。

本书可作为高等学校环境科学与工程类专业师生的教学用书,也可供从事环保设备设计制造、环境工程设计、环境工程建设管理等环保产业相关技术人员参考。

#### 图书在版编目(CIP)数据

环保设备:原理·设计·应用/刘宏主编.—4版.  
—北京:化学工业出版社,2019.10  
ISBN 978-7-122-34884-5

I. ①环… II. ①刘… III. ①环境保护设施  
IV. ①X505

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第148652号

---

责任编辑:董琳  
责任校对:宋玮

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:三河市航远印刷有限公司

装订:三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张21 $\frac{1}{4}$  字数574千字 2019年9月北京第4版第1次印刷

---

购书咨询:010-64518888 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:59.80元

版权所有 违者必究

## 第四版前言

作为国家确定的七大战略性新兴产业之一的环保产业，已经成为 21 世纪的朝阳产业。处于环保产业链上游的环保设备制造业对专业技术人才的要求高、需求量巨大。建设高质量的环保设备教材对于提高环境科学与工程类专业教学质量和人才培养质量具有重要作用。

《环保设备——原理·设计·应用》教材自 2001 年由化学工业出版社出版发行以来，经许多高校师生使用，反响良好，2006 年入选普通高等教育“十一五”国家级规划教材，2012 年被江苏省教育厅推荐参评普通高等教育“十二五”国家级规划教材，2017 年获评“十三五”江苏省高等学校重点教材。为持续提升教材建设质量，锤炼精品教材，在提高环境科学与工程类专业教学质量和人才培养质量中发挥更大作用，突出学生工程能力和创新能力培养，本教材历经三次修订，删旧增新，持续改进，不断增加环保产业新工艺、新设备。本教材着重介绍了污水处理、废气治理、噪声控制等环保设备的原理、设计、运行和管理等知识，并结合实际给出了部分工程实例。为提升学生学习效果，培养学生分析和解决复杂工程问题的能力，在各章后面附有思考题。为适应新工科人才培养需求，提升学生的工程素质和创新能力，独立设置了课程设计章节。

本教材第四版由刘宏负责修订与统稿工作，郑铭主审。参加本版修订的人员还有赵如金、李维斌、艾凤祥、依成武、吴云涛、杜彦生等老师。镇江华东电力设备制造厂有限公司蒋仁宏、何玉洋参与了第四版的修订工作。

参加第一版编写和审校的人员有郑铭、陈万金、刘宏、王明贤、艾凤祥、陈春云。参加第二版编写、修订和审校的人员有郑铭、刘宏、艾凤祥、李维斌、赵如金。参加第三版修订和审校的人员有刘宏、郑铭、赵如金、李维斌、艾凤祥、依成武。对上述人员为本教材建设做出的重要贡献表示真诚的感谢。对江苏大学环境与安全工程学院各位领导与老师对本教材的一贯支持和帮助，以及兄弟院校同行提出的宝贵意见与建议表示诚挚的谢意。

本教材引用了教学、科研、环保产业技术同行撰写的论文、著作、教材、手册等均列在参考文献中，在此表示深切的谢意。

限于编者的学术水平与工程经验，教材中的疏漏和不足之处在所难免，敬请各位读者批评指正。

编者

2019 年 5 月于江苏大学

# 目 录

第一章 物理法污水处理设备	1
第一节 预处理设备	1
一、格栅	1
二、沉砂池	5
三、调节池	12
四、除油装置	15
第二节 沉淀池	20
一、平流式沉淀池	20
二、竖流式沉淀池	26
三、辐流式沉淀池	29
四、斜板(管)沉淀池	33
第三节 气浮装置	37
一、气浮技术的基本原理	37
二、电解气浮	38
三、布气气浮	39
四、溶气气浮	42
第四节 过滤装置	50
一、快滤池	50
二、其他类型滤池的设计与计算	55
三、滤池的反冲洗	57
第五节 离心分离设备	60
一、水力旋流器	60
二、离心机	62
第六节 磁分离设备	63
一、磁分离原理	63
二、磁分离设备	63
三、两秒钟分离机	66
思考题	66
第二章 化学法污水处理设备	68
第一节 混凝设备	68
一、混凝剂的投配方法及设备	68
二、混合与搅拌设备	70
三、反应设备	71
四、澄清池	79
第二节 电解槽	85
一、电解槽的类型	85
二、电解槽的工艺设计	86
第三节 氯氧化设备	88
一、加氯机	88
二、漂白粉投加装置	90
第四节 臭氧氧化设备	90
一、臭氧的性质及其在污水处理中的	
应用	90
二、臭氧发生器及接触反应设备	91
思考题	96
第三章 生化法污水处理设备	98
第一节 活性污泥法污水处理设备	98
一、活性污泥法基本原理	98
二、活性污泥法工艺	101
三、曝气池设计	106
第二节 生物膜法污水处理设备	115
一、生物膜法基本原理	116
二、生物滤池及附属设备设计选型	116
三、生物转盘反应装置及附属设备设计	
选型	122
第三节 厌氧法污水处理设备	131
一、厌氧处理的原理及运行参数	132
二、厌氧反应装置设计	133
第四节 生物脱氮除磷工艺及设备	137
一、生物脱氮工艺及设备	137
二、生物除磷工艺及设备	139
三、生物同步脱氮除磷工艺及设备	139
第五节 污泥处理设备	141
一、污泥特性及处理流程	141
二、污泥浓缩设备	143
三、污泥脱水干化设备	144
思考题	146
第四章 物理化学法污水处理装置	147
第一节 吸附	147
一、吸附理论	147
二、吸附工艺与设计	151
第二节 离子交换	154
一、基本理论	154
二、离子交换工艺	155
三、离子交换设备的参数计算	156
第三节 膜分离设备	157
一、电渗析设备	157
二、反渗透设备	160
三、超滤设备	162
第四节 其他相转移分离设备	163
一、吹脱设备	163
二、汽提设备	164
三、萃取设备	164

四、蒸发设备 .....	166	思考题 .....	249
五、结晶设备 .....	166	<b>第七章 废气净化设备</b> .....	251
思考题 .....	167	第一节 吸收设备 .....	251
<b>第五章 一体化污水处理及中水回用设备</b> .....	168	一、废气吸收净化机理与吸收液的选用 .....	251
第一节 一体化污水处理设备 .....	168	二、吸收设备的基本要求与型式 .....	252
一、典型一体化污水处理设备 .....	168	三、吸收塔的选用与计算 .....	253
二、一体化污水处理工艺新进展 .....	174	第二节 催化反应器 .....	265
三、一体化污水处理设备的应用 .....	175	一、废气催化净化机理 .....	265
第二节 一体化中水回用设备 .....	176	二、气-固相催化反应器的结构类型及选择 .....	266
一、中水水源与水质 .....	176	三、气-固相催化反应器的设计计算 .....	267
二、中水回用处理工艺的选择 .....	176	第三节 光催化反应器 .....	271
三、中水回用工艺设计 .....	178	一、TiO <sub>2</sub> 光催化净化机理 .....	272
四、典型的一体化中水回用设备 .....	179	二、光催化反应器 .....	272
思考题 .....	184	第四节 生物净化器 .....	276
<b>第六章 除尘设备</b> .....	185	一、生物净化原理 .....	276
第一节 除尘设备的性能与分类 .....	185	二、生物净化器 .....	277
一、除尘设备的性能 .....	185	三、生物载体 .....	280
二、除尘设备的分类 .....	186	思考题 .....	280
第二节 机械式除尘器 .....	186	<b>第八章 除尘脱硫一体化设备</b> .....	281
一、重力沉降室 .....	186	第一节 湿式除尘脱硫一体化装置 .....	281
二、惯性除尘器 .....	188	一、卧式网膜塔除尘脱硫装置 .....	281
三、旋风除尘器 .....	189	二、SHG 型除尘脱硫装置 .....	282
第三节 湿式除尘器 .....	195	三、喷射式吸收塔除尘脱硫装置 .....	284
一、概述 .....	195	第二节 电子束排烟处理装置 .....	285
二、喷淋塔 .....	195	一、EBA 法装置及其净化机理 .....	285
三、文丘里洗涤器 .....	196	二、EBA 法处理效果及其影响因素 .....	287
四、冲击水浴式除尘器 .....	199	三、EBA 法特点 .....	288
五、水膜除尘器 .....	203	四、EBA 法实际应用示例 .....	288
六、脱水装置 .....	208	第三节 电晕放电除尘脱硫装置 .....	290
第四节 过滤式除尘器 .....	210	一、装置组成及处理工艺流程 .....	290
一、袋式除尘器 .....	210	二、SO <sub>2</sub> 等有害气体的分解机理 .....	291
二、颗粒除尘器 .....	227	三、SO <sub>2</sub> 分解效果及其影响因素 .....	292
三、陶瓷微管过滤式除尘器 .....	231	思考题 .....	294
第五节 电除尘器 .....	231	<b>第九章 噪声控制设备</b> .....	295
一、电除尘器的收尘机理 .....	232	第一节 吸声降噪设计与应用 .....	295
二、电除尘器的类型与组成 .....	232	一、多孔吸声材料 .....	295
三、电除尘器的技术性能与设计计算 .....	236	二、共振吸声结构 .....	299
第六节 新型除尘器 .....	243	三、吸声降噪的应用 .....	300
一、复合式除尘器 .....	243	第二节 隔声设备的设计与应用 .....	302
二、高梯度磁分离除尘器 .....	244	一、隔声基本知识 .....	302
三、电凝聚除尘器 .....	245	二、隔声间的设计与应用 .....	305
四、高频声波助燃除尘器 .....	246	三、隔声罩的设计与应用 .....	309
第七节 除尘设备的选择与维护 .....	246	四、隔声屏的设计与应用 .....	311
一、除尘设备的选择 .....	246	第三节 消声器的设计与应用 .....	313
二、除尘器的维护和管理 .....	247		
三、除尘设备的发展 .....	248		

一、消声器的种类与性能要求 .....	313	一、环保设备课程设计的目的 .....	327
二、阻性消声器 .....	314	二、环保设备课程设计的的要求 .....	327
三、抗性消声器 .....	317	第二节 环保设备课程设计题目 .....	328
四、其他类型消声器 .....	322	一、水污染控制设备课程设计题目 .....	328
思考题 .....	325	二、大气污染控制设备课程设计题目 .....	329
<b>第十章 环保设备课程设计 .....</b>	<b>327</b>	三、噪声控制设备课程设计题目 .....	329
第一节 环保设备课程设计的目的和		四、设备装配图示例 .....	331
要求 .....	327	<b>参考文献 .....</b>	<b>332</b>

# 第一章 物理法污水处理设备

## 第一节 预处理设备

### 一、格栅

#### 1. 格栅的构造与分类

格栅是一种最简单的过滤设备，由一组或多组平行的金属栅条制成框架，斜置于污水流经的渠道中。格栅设于污水处理厂所有处理构筑物之前，或设在泵站前，用于截留污水中粗大的悬浮物或漂浮物，防止其后处理构筑物的管道阀门或水泵堵塞。

按形状，格栅可分为平面格栅、曲面格栅和阶梯式格栅三种；按栅条净间隙，可分为粗格栅（50~100mm）、中格栅（10~40mm）、细格栅（3~10mm）三种；按清渣方式，可分为人工清除格栅和机械清除格栅两种。

#### 2. 格栅的设计计算

##### (1) 格栅的选择

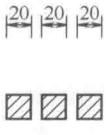

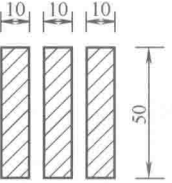
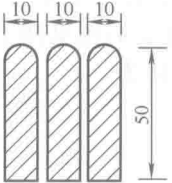
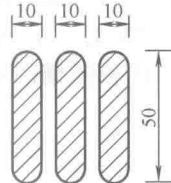
① 格栅的栅条间隙 当格栅设于污水处理系统之前时，采用机械清除栅渣时，栅条间隙为16~25mm；采用人工清除栅渣时，栅条间隙为25~40mm。当格栅设于污水泵前时，栅条间隙采用数据见表1-1。

表 1-1 污水泵型号与栅条间隙的关系

污水泵型号	栅条间隙/mm	栅渣量/[L/(人·d)]	污水泵型号	栅条间隙/mm	栅渣量/[L/(人·d)]
$2\frac{1}{2}$ PW, $2\frac{1}{2}$ PWL	≤20	4~6	6PW	≤70	0.8
4PW	≤40	2.7	8PW	≤90	0.5
			10PWL	≤110	<0.5

② 格栅栅条断面形状 栅条断面形状可按表1-2选用。圆形断面水力条件好，水流阻力小，但刚度差，一般多采用矩形断面。

表 1-2 栅条断面形状与尺寸

栅条断面	正方形	圆形	矩形	带半圆的矩形	两头半圆的矩形
尺寸/mm					

③ 清渣方式 栅渣的清除方法，一般按所需清渣的量而定。每日栅渣量大于0.2m<sup>3</sup>时，应采用机械格栅除渣机。为了改善劳动条件，目前，一些小型污水处理厂也采用机械格栅除渣机。

机械格栅除渣机的类型很多，常用几种类型除渣机的适用范围及优缺点见表1-3。

表 1-3 不同类型格栅除渣机的比较

类 型	适 用 范 围	优 点	缺 点
链条式	深度不大的中小型格栅,主要清除长纤维、带状物等生活污水中杂物	①构造简单,制造方便 ②占地面积小	①杂物进入链条和链轮之间时容易卡住 ②套筒滚子链造价高、耐腐蚀性差
移动式伸缩臂	中等深度的宽大格栅,耙斗式适于污水除杂质	①不清渣时,设备全部在水面上,维护检修方便 ②可不停水检修 ③钢丝绳在水面上运行,寿命长	①需三套电动机、减速器,构造较复杂 ②移动时耙齿与栅条间隙的对位较困难
圆周回转式	深度较浅的中小型格栅	①构造简单,制造方便 ②动作可靠,容易检修	①配置圆弧形格栅,制造较难 ②占地面积大
钢丝绳牵引式	固定式适用于中小型格栅,应用深度范围广,移动式适用于宽大格栅	①适用范围广 ②无水下固定部件的设备,维护检修方便	①钢丝绳干湿交替易腐蚀,需采用不锈钢钢丝绳,货源困难 ②有水下固定部件的设备,维护检修需停水

## (2) 设计参数

① 格栅截留的栅渣量 栅渣量与栅条间隙、当地的污水特征、污水流量、排水体制等因素有关。当缺乏当地运行资料时,可按下列数据选用。

格栅间隙 16~25mm, 栅渣量 0.05~0.10m<sup>3</sup> 栅渣/10<sup>3</sup>m<sup>3</sup> 污水。

格栅间隙 30~50mm, 栅渣量 0.01~0.03m<sup>3</sup> 栅渣/10<sup>3</sup>m<sup>3</sup> 污水。

栅渣的含水率一般为 80%, 容重约 960kg/m<sup>3</sup>。

栅渣的收集、装卸设备,应以其体积为考虑依据。污水处理厂内贮存栅渣的容器,不应小于一天截留的栅渣量。

② 水流通过格栅的水头损失 可通过计算确定,一般采用 0.08~0.15m, 栅后渠底应比栅前相应降低 0.08~0.15m。栅前渠道内水流速度一般采用 0.4~0.9m/s, 污水通过栅条间隙的流速可采用 0.6~1.0m/s。

③ 格栅的倾角 一般采用 45°~75°, 人工清除栅渣时取低值。格栅设有栅顶工作台,其高度高出栅前最高设计水位 0.5m, 工作台设有安全装置和冲洗设备, 工作台两侧过道宽度不小于 0.7m, 工作台正面过道宽度按以下标准选择: 当人工清除栅渣时, 不应小于 1.2m; 当机械清除栅渣时, 不应小于 1.5m。

(3) 计算公式 计算简图见图 1-1。

① 格栅槽的宽度  $B$  为

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

$$n = \frac{Q_{\max} \sqrt{\sin \alpha}}{bhv} \quad (1-2)$$

式中  $B$ ——格栅槽的宽度, m;

$s$ ——栅条宽度, m;

$n$ ——栅条间隙数量;

$b$ ——栅条间隙, m;

- $Q_{\max}$ ——最大设计流量,  $\text{m}^3/\text{s}$ ;  
 $\alpha$ ——格栅的倾角;  
 $h$ ——栅前水深,  $\text{m}$ ;  
 $v$ ——过栅流速,  $\text{m}/\text{s}$ 。

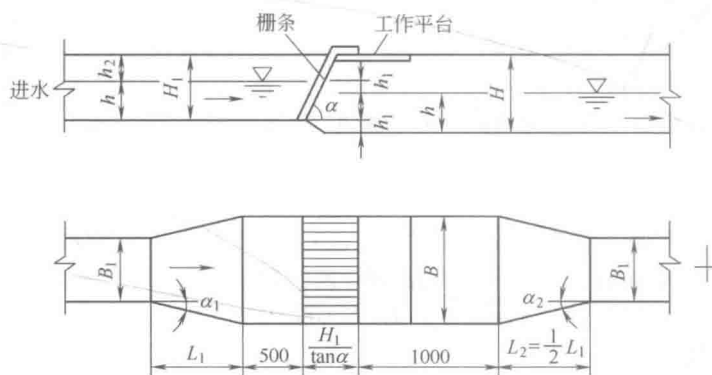


图 1-1 格栅计算

② 通过格栅的水头损失  $h_1$  为

$$h_1 = kh_0 \quad (1-3)$$

$$h_0 = \xi \frac{v^2}{2g} \sin\alpha \quad (1-4)$$

- 式中  $h_1$ ——通过格栅的水头损失,  $\text{m}$ ;  
 $h_0$ ——计算水头损失,  $\text{m}$ ;  
 $k$ ——系数, 格栅受栅渣堵塞时, 水头损失增大的倍数, 一般取  $k=3$ ;  
 $g$ ——重力加速度,  $9.81\text{m}/\text{s}^2$ ;  
 $\xi$ ——阻力系数, 其值与栅条的断面形状有关, 可按表 1-4 选用。

表 1-4 格栅间隙的局部阻力系数  $\xi$

栅条断面形状	公 式	说 明	
矩形	$\xi = \beta \left( \frac{s}{b} \right)^{4/3}$	形 状 系 数	$\beta = 2.42$
圆形			$\beta = 1.79$
带半圆的矩形			$\beta = 1.83$
两头半圆的矩形			$\beta = 1.67$
正方形	$\xi = \left( \frac{b+s}{\epsilon b} - 1 \right)^2$	$\epsilon$ 为收缩系数, 一般取 0.64	

③ 栅后槽总高度  $H$  为

$$H = h + h_1 + h_2 \quad (1-5)$$

- 式中  $H$ ——栅后槽总高度,  $\text{m}$ ;  
 $h$ ——栅前水深,  $\text{m}$ ;  
 $h_2$ ——栅前渠道超高,  $\text{m}$ , 一般取  $0.3\text{m}$ 。

④ 栅槽总长度

$$L = L_1 + L_2 + 1.0 + 0.5 + \frac{H_1}{\tan\alpha} \quad (1-6)$$

$$L_1 = \frac{B - B_1}{2 \tan\alpha_1} \quad (1-7)$$

$$L_2 = \frac{L_1}{2} \quad (1-8)$$

$$H_1 = h + h_2 \quad (1-9)$$

式中  $L$ ——栅槽总长度, m;

$L_1$ ——格栅前部渐宽段的长度, m;

$L_2$ ——格栅后部渐窄段的长度, m;

$H_1$ ——栅前渠中水深, m;

$\alpha_1$ ——进水渠渐宽段展开角度, ( $^\circ$ ) 一般取  $20^\circ$ ;

$B$ ——格栅槽宽度, m;

$B_1$ ——进水渠宽度, m。

⑤ 每日栅渣量  $W$

$$W = \frac{Q_{\max} W_1 \times 86400}{K_z \times 1000} \quad (1-10)$$

式中  $W$ ——每日栅渣量,  $\text{m}^3/\text{d}$ ;

$W_1$ ——栅渣量,  $\text{m}^3$  栅渣/ $10^3 \text{m}^3$  污水;

$K_z$ ——生活污水流量总变化系数, 见表 1-5。

表 1-5 生活污水流量总变化系数  $K_z$

平均日流量/(L/s)	4	6	10	15	25	40	70	120	200	400	750	1600
$K_z$	2.3	2.2	2.1	2.0	1.89	1.80	1.69	1.59	1.51	1.40	1.30	1.20

(4) 应用举例 某城市最大设计污水流量  $Q_{\max} = 0.2 \text{m}^3/\text{s}$ ,  $K_z = 1.5$ , 试设计格栅与栅槽。

解: 格栅计算草图见图 1-1。设栅前水深  $h = 0.4 \text{m}$ , 过栅流速取  $v = 0.9 \text{m/s}$ , 采用中格栅, 栅条宽度  $s = 10 \text{mm}$ , 栅条间隙  $b = 20 \text{mm}$ , 格栅安装倾角  $\alpha = 60^\circ$ 。

① 栅条的间隙数

$$n = \frac{Q_{\max} \sqrt{\sin \alpha}}{bhv} = \frac{0.2 \sqrt{\sin 60^\circ}}{0.02 \times 0.4 \times 0.9} \approx 26 \text{ (个)}$$

② 栅槽宽度  $B = s(n-1) + bn = 0.01 \times (26-1) + 0.02 \times 26 = 0.8 \text{ (m)}$

③ 进水渠道渐宽部分长度

设进水渠道宽  $B_1 = 0.65 \text{m}$ , 渐宽部分展开角  $\alpha_1 = 60^\circ$ , 此时进水渠道内的流速为  $0.77 \text{m/s}$ 。

$$L_1 = \frac{B - B_1}{2 \tan \alpha_1} = \frac{0.8 - 0.65}{2 \tan 20^\circ} \approx 0.22 \text{ (m)}$$

④ 栅槽与出水渠道连接处的渐窄部分长度

$$L_2 = \frac{L_1}{2} = \frac{0.22}{2} = 0.11 \text{ (m)}$$

⑤ 通过格栅的水头损失

采用栅条断面为矩形的格栅, 取  $k = 3$ , 由式(1-3)、式(1-4)得

$$\begin{aligned} h_1 &= kh_0 = k\xi \frac{v^2}{2g} \sin \alpha = k\beta \left(\frac{s}{b}\right)^{4/3} \frac{v^2}{2g} \sin \alpha \\ &= 3 \times 2.42 \times \left(\frac{0.01}{0.02}\right)^{4/3} \times \frac{0.9^2}{2 \times 9.81} \sin 60^\circ = 0.097 \text{ (m)} \end{aligned}$$

⑥ 栅后槽总高度

取栅前渠道超高  $h_2=0.3\text{m}$ , 栅前槽高  $H_1=h+h_2=0.7\text{m}$ , 而

$$H=h+h_1+h_2=0.4+0.097+0.3\approx 0.8(\text{m})$$

### ⑦ 栅槽总长度

$$L=L_1+L_2+1.0+0.5+\frac{H_1}{\tan\alpha}=0.22+0.11+1.0+0.5+\frac{0.7}{\tan 60^\circ}=2.24(\text{m})$$

### ⑧ 每日栅渣量

取  $W_1=0.07\text{m}^3$  栅渣/ $10^3\text{m}^3$  污水, 由式(1-10) 可得

$$W=\frac{Q_{\max}W_1\times 86400}{K_2\times 1000}=\frac{0.2\times 0.07\times 86400}{1.5\times 1000}=0.8(\text{m}^3/\text{d})$$

### (5) 回转阶梯式格栅

回转阶梯式格栅的形状与自动扶梯相似, 区别是自动扶梯无间隔。而阶梯式格栅, 栅条之间留有空隙, 以供水流通过。栅条与栅槽设计可参考前述。其优点是可以自动将截留的悬浮物和漂浮物输送到指定的地方, 省去了清渣机械。缺点是结构比较复杂, 增加了格栅的成本, 常用于工业污水处理之中。

## 二、沉砂池

沉砂池的作用是去除污水中密度较大的无机颗粒, 如泥砂、煤渣等。一般设在泵站、倒虹管、沉淀池前, 以减轻水泵和管道的磨损, 防止后续处理构筑物管道的堵塞, 缩小污泥处理构筑物的容积, 提高污泥有机组分的含量, 提高污泥作为肥料的价值。常用的沉砂池有平流式沉砂池、曝气沉砂池、多尔沉砂池和钟式沉砂池等。

### 1. 平流式沉砂池

平流式沉砂池由入流渠、出流渠、闸板、水流部分及沉砂斗组成, 见图 1-2。它具有截留无机颗粒效果较好、工作稳定、构造简单、排砂较方便等优点。

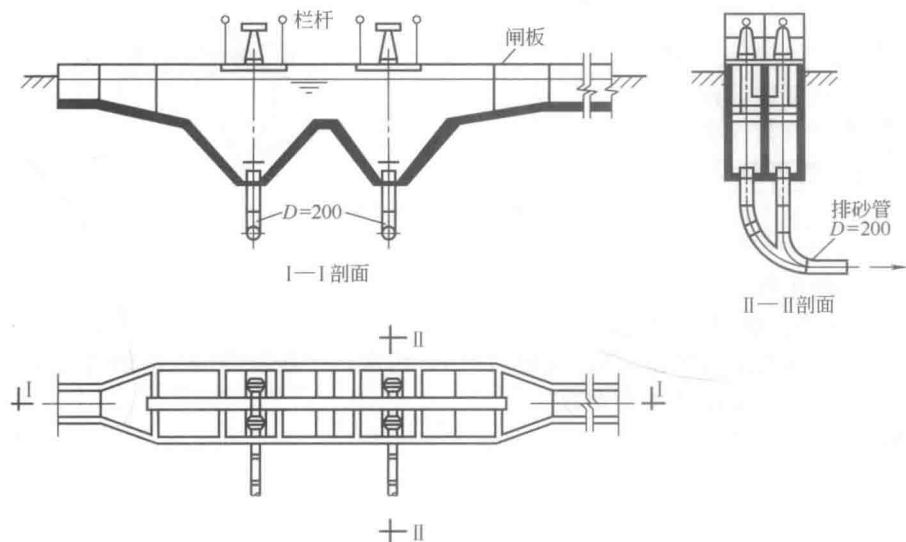


图 1-2 平流式沉砂池

(1) 平流式沉砂池的设计要求及参数 平流式沉砂池的设计参数按去除相对密度 2.65, 粒径大于 0.2mm 的砂粒确定。主要参数有以下几个。

① 沉砂池的座数或分格数不得少于两个, 并宜按并联系列设计。当污水量较小时, 可考虑单格工作, 一格备用; 当污水流量大时, 则两格同时工作。

② 设计流量的确定 当污水以自流方式流入沉砂池时, 应按最大设计流量计算; 当污

水用水泵抽送进入池内时，应按工作水泵的最大可能组合流量计算；当用于合流制处理系统时，应按降雨时的设计流量计算。

③ 最大设计流量时，污水在池内的最大流速为  $0.3\text{m/s}$ ，最小流速为  $0.15\text{m/s}$ 。这样的流速范围可基本保证无机颗粒沉降去除，而有机物不能下沉。

④ 最大设计流量时，污水在池内停留时间不少于  $30\text{s}$ ，一般为  $30\sim 60\text{s}$ 。

⑤ 设计有效水深应不大于  $1.2\text{m}$ ，一般采用  $0.25\sim 1.0\text{m}$ ，每格池宽不宜小于  $0.6\text{m}$ ，超高不宜小于  $0.3\text{m}$ 。

⑥ 沉砂量的确定 生活污水的沉砂量按每人每天  $0.01\sim 0.02\text{L}$ ；城市污水按  $10^6\text{m}^3$  污水产生沉砂  $30\text{m}^3$  计；沉砂含水率约为  $60\%$ ，容重  $1500\text{kg/m}^3$ ，贮砂斗的容积按两日以内的沉砂量考虑，斗壁与水平面倾角为  $55^\circ\sim 60^\circ$ 。

⑦ 池底坡度一般为  $0.01\sim 0.02$ ，并可根据除砂设备要求，考虑池底的形状。

## (2) 平流式沉砂池的设计计算

① 沉砂池水流部分的长度  $L$  沉砂池两闸板之间的长度即为水流部分的长度

$$L = vt \quad (1-11)$$

式中  $L$ ——沉砂池水流部分的长度， $\text{m}$ ；

$v$ ——最大设计流量时的流速， $\text{m/s}$ ；

$t$ ——最大设计流量时的停留时间， $\text{s}$ 。

② 沉砂池过水断面面积  $A$

$$A = \frac{Q_{\max}}{v} \quad (1-12)$$

式中  $A$ ——沉砂池过水断面面积， $\text{m}^2$ ；

$Q_{\max}$ ——最大设计流量， $\text{m}^3/\text{s}$ 。

③ 沉砂池总宽度  $B$

$$B = \frac{A}{h_2} \quad (1-13)$$

式中  $B$ ——池总宽度， $\text{m}$ ；

$h_2$ ——设计有效水深， $\text{m}$ 。

④ 沉砂斗所需容积  $V$

$$V = \frac{Q_{\max} t X \times 86400}{K_z \times 10^6} \quad (1-14)$$

式中  $V$ ——沉砂斗所需容积， $\text{m}^3$ ；

$t$ ——清除沉砂的时间间隔， $\text{d}$ ；

$X$ ——城市污水的沉砂量， $\text{m}^3$  沉砂/ $10^6\text{m}^3$  污水，一般取  $30\text{m}^3$  沉砂/ $10^6\text{m}^3$  污水；

$K_z$ ——生活污水流量总变化系数。

⑤ 沉砂池总高度  $H$

$$H = h_1 + h_2 + h_3 \quad (1-15)$$

式中  $H$ ——沉砂池总高度， $\text{m}$ ；

$h_1$ ——超高， $\text{m}$ ，取  $0.3\text{m}$ ；

$h_3$ ——贮砂斗的高度， $\text{m}$ 。

⑥ 核算最小流量时，污水流经沉砂池的最小流速是否在规定的范围内。

$$v_{\min} = \frac{Q_{\min}}{n\omega} \quad (1-16)$$

式中  $Q_{\min}$ ——最小流量， $\text{m}^3/\text{s}$ ；

$n$ ——最小流量时工作的沉砂池座数；

$\omega$ ——最小流量时沉砂池中水流断面面积,  $\text{m}^2$ 。

$v_{\min} \geq 0.15 \text{m/s}$ , 则设计符合要求。

(3) 平流式沉砂池的排砂装置 平流式沉砂池常用的排砂方式与装置主要有重力排砂与机械排砂两类。

图 1-2 为砂斗加底闸, 进行重力排砂, 排砂管直径 200mm。图 1-3 为砂斗加贮砂罐及底闸, 进行重力排砂。砂斗中的沉砂经碟阀进入钢制贮砂罐, 贮砂罐中的上清液经旁通水管流回沉砂池, 最后, 沉砂经碟阀入运砂车。这种排砂方法的优点是排砂的含水率低, 排砂量容易计算, 缺点是沉砂池需要高架或挖小车通道。

图 1-4 为机械排砂法的一种单口泵吸式排砂机。沉砂池为平底, 砂泵、真空泵、吸砂管、旋流分离器, 均安装在行走桁架上。桁架沿池长方向往返行走排砂。经旋流分离器分离的水分回流到沉砂池, 沉砂可用小车、皮带运送器等运至晒砂场或贮砂池。这种排砂方法自动化程度高, 排砂含水率低, 工作条件好, 池高较低。机械排砂法还有链板刮砂法、抓斗排砂法等。中、大型污水处理厂应采用机械排砂。

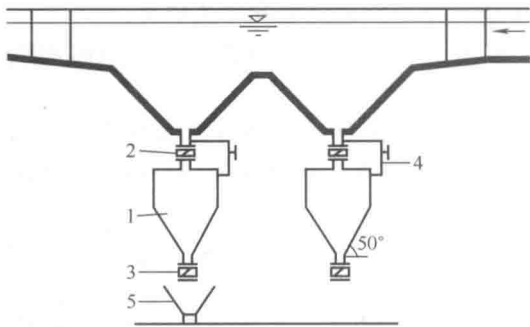


图 1-3 平流式沉砂池重力排砂法

1—贮砂罐; 2,3—手动或电动碟阀; 4—旁通水管; 5—运砂车

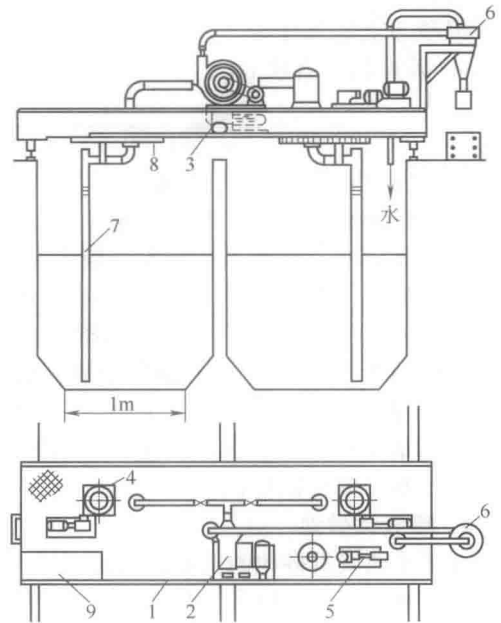


图 1-4 单口泵吸式排砂机

1—桁架; 2—砂泵; 3—桁架行走装置; 4—回转装置; 5—真空泵; 6—旋流分离器; 7—吸砂管; 8—齿轮; 9—操作台

(4) 应用举例 设计人口数为 130000, 最大设计流量 200L/s, 最小设计流量 100L/s, 每两日除砂一次, 每人每日沉砂量为 0.02L, 超高取 0.3m。试设计平流式沉砂池。

解: 取设计流速  $v=0.3 \text{m/s}$ , 最大流量时停留时间  $t=30 \text{s}$ 。

① 沉砂池长度  $L$

$$L = vt = 0.3 \times 30 = 9 \text{ (m)}$$

② 沉砂池水流断面面积  $A$

$$A = \frac{Q_{\max}}{v} = \frac{0.2}{0.3} = 0.67 \text{ (m}^2\text{)}$$

③ 沉砂池有效水深  $h_2$

采用两个分格，每格宽度  $b=0.6\text{m}$ ，总宽度  $B=1.2\text{m}$ 。

$$h_2 = \frac{A}{B} = \frac{0.67}{1.2} = 0.558 \text{ (m)} (<1.2\text{m}, \text{合理})$$

④ 沉砂斗所需容积  $V$

$$V = \frac{130000 \times 0.02 \times 2}{1000} = 5.2 \text{ (m}^3\text{)}$$

⑤ 沉砂斗各部分尺寸计算 沉砂池的每一分格设两个沉砂斗，则共有 4 个沉砂斗。每个沉砂斗容积  $V_1$  为

$$V_1 = \frac{V}{4} = \frac{5.2}{4} = 1.3 \text{ (m}^3\text{)}$$

设砂斗中贮砂高度为  $h_3$ ，斗底尺寸为  $0.5 \times 0.6\text{m}^2$ ，斜壁与水平面夹角为  $55^\circ$ ，则有

$$V_1 = \left[ \left( \frac{2h_3}{\tan 55^\circ} + 0.5 \right) + 0.5 \right] \times \frac{h_3}{2} \times 0.6 = 1.3$$

解得  $h_3 = 1.44\text{m}$ 。

沉砂斗的实际高度应比贮砂高度大些，取砂斗实际高度为  $1.84\text{m}$ 。

沉砂斗上部尺寸为  $3.1 \times 0.6\text{m}^2$ 。

⑥ 验算最小流速  $v_{\min}$

$$v_{\min} = \frac{Q_{\min}}{n\omega} = \frac{0.1}{1 \times 0.6 \times 0.558} = 0.3 \text{ (m/s)} (>0.15\text{m/s}, \text{合格})$$

⑦ 沉砂池的进水部分 沉砂池一般设置为细格栅，格栅间隙  $0.02 \sim 0.025\text{m}$ 。沉砂池按远期流量一次设计，施工时，为避免因近远期水量的变化，或提升水泵的剩余水头等因素，造成池内水量小、扬程高的现象，应考虑在沉砂池进水部分采取消能和整流措施。

当沉砂池采用进水井进水时，可取进水井流速  $v_0 \geq 0.2\text{m/s}$ ，则可得进水井断面面积，即得进水井宽度  $b_1$ ，此即为栅前渠道的宽度。

沉砂池有效宽度  $B$  即为格栅栅槽宽度。按格栅计算公式，可求得沉砂池进水格栅尺寸。

⑧ 贮砂池计算与布置 贮砂池直接设于高架沉砂池的下面，池底为  $5\%$  斜坡，坡向一端设有不锈钢格栅，以利沉渣脱水。脱水后的沉渣用车定期外运。

沉砂池计算草图见图 1-5。

## 2. 曝气沉砂池

普通平流式沉砂池的主要缺点是沉砂中约夹杂有  $15\%$  的有机物，对被有机物包覆的砂粒，截留效果也不佳，沉砂易于腐化发臭，增加了沉砂后续处理的难度。日益广泛使用的曝气沉砂池，则可以在一定程度上克服这些缺点。图 1-6 为曝气沉砂池的剖面图。曝气沉砂池的水流部分是一个矩形渠道，在沿池壁一侧的整个长度距池底  $0.6 \sim 0.9\text{m}$  处安设曝气装置，曝气沉砂池的下部设置集砂槽，池底有  $i=0.1 \sim 0.5$  的坡度，坡向另一侧的集砂槽，以保证砂粒滑入。

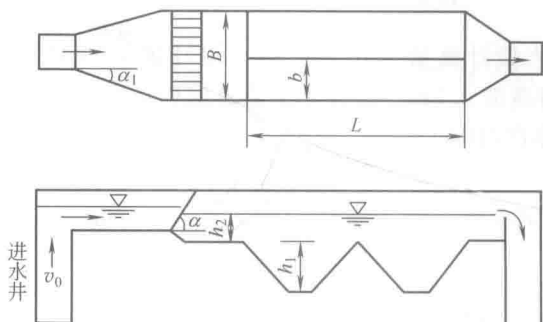


图 1-5 平流式沉砂池计算草图

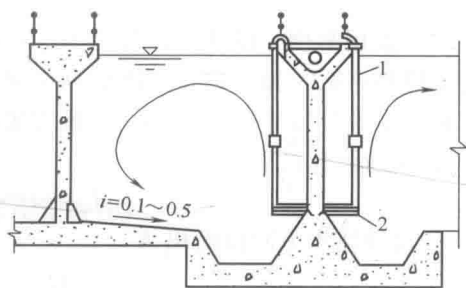


图 1-6 曝气沉砂池剖面图

1—压缩空气管；2—空气扩散板

## (1) 曝气沉砂池的设计参数

① 污水在曝气沉砂池过水断面周边的最大旋转速度为  $0.25 \sim 0.30 \text{ m/s}$ ，在池内的水平前进流速为  $0.08 \sim 0.12 \text{ m/s}$ 。如考虑预曝气的作用，可将曝气沉砂池过水断面增大  $3 \sim 4$  倍。

② 最大设计流量时，污水在池内的停留时间为  $1 \sim 3 \text{ min}$ 。如考虑预曝气，则可延长池身，使停留时间为  $10 \sim 30 \text{ min}$ 。

③ 有效水深取  $2 \sim 3 \text{ m}$ ，宽深比取  $1.0 \sim 1.5$ ，长宽比取  $5$ 。若池长比池宽大得多，则应考虑设置横向挡板，池的形状应尽可能不产生偏流或死角，在集砂槽附近安装纵向挡板。

④ 曝气装置安装在池的一侧，距池底  $0.6 \sim 0.9 \text{ m}$ ，空气管上应设置调节空气的阀门，曝气穿孔管孔径为  $2.5 \sim 6.0 \text{ mm}$ ，曝气量为  $0.2 \text{ m}^3/\text{m}^3$  污水或  $3 \sim 5 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

⑤ 曝气沉砂池的进水口应与水在沉砂池内的旋转方向一致，出水口常用淹没式，出水方向与进水方向垂直，并宜考虑设置挡板。

## (2) 曝气沉砂池的设计计算

① 曝气沉砂池总有效容积  $V$ 

$$V = Q_{\max} t \times 60 \quad (1-17)$$

式中  $V$ ——曝气沉砂池总有效容积， $\text{m}^3$ ；

$Q_{\max}$ ——最大设计流量， $\text{m}^3/\text{s}$ ；

$t$ ——最大设计流量时的停留时间， $\text{min}$ 。

② 水流断面面积  $A$ 

$$A = \frac{Q_{\max}}{v_1} \quad (1-18)$$

式中  $A$ ——水流断面面积， $\text{m}^2$ ；

$v_1$ ——最大设计流量时的水平流速， $\text{m/s}$ 。

③ 池子总宽度  $B$ 

$$B = \frac{A}{h_2} \quad (1-19)$$

式中  $B$ ——池子总宽度， $\text{m}$ ；

$h_2$ ——设计有效水深， $\text{m}$ 。

④ 沉砂池长度  $L$ 

$$L = \frac{V}{A} \quad (1-20)$$

⑤ 每小时所需的空气量  $q$ 

$$q = dQ_{\max} \times 3600 \quad (1-21)$$

式中  $q$ ——每小时所需空气量， $\text{m}^3/\text{h}$ ；

$d$ ——每立方米污水所需空气量， $\text{m}^3$ 。

空气量也可按单位池长所需的空气量进行计算。单位池长所需的空气量见表 1-6，供参考。

表 1-6 单位池长所需的空气量

曝气管水下浸没深度/m	最低空气用量 / $[\text{m}^3/(\text{m} \cdot \text{h})]$	达到良好除砂效果 的最大空气量 / $[\text{m}^3/(\text{m} \cdot \text{h})]$	曝气管水下浸没深度/m	最低空气用量 / $[\text{m}^3/(\text{m} \cdot \text{h})]$	达到良好除砂效果 的最大空气量 / $[\text{m}^3/(\text{m} \cdot \text{h})]$
1.5	12.5~15.0	30	3.0	10.5~14.0	28
2.0	11.0~14.5	29	4.0	10.0~13.5	25
2.5	10.5~14.0	28			

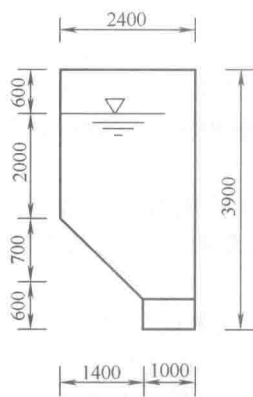


图 1-7 曝气沉砂池设计断面

(3) 应用举例 某污水处理厂最大设计流量  $Q_{\max} = 1.2 \text{ m}^3/\text{s}$ , 含砂量为  $0.02 \text{ L}/\text{m}^3$  污水, 污水在池中的停留时间  $t = 2.0 \text{ min}$ , 污水在池内的水平流速  $v_1 = 0.1 \text{ m}/\text{s}$ 。若每两日排砂一次, 试确定曝气沉砂池的有效尺寸及砂斗尺寸。

解: ① 曝气沉砂池的容积

$$V = Q_{\max} t \times 60 = 1.2 \times 2.0 \times 60 = 144 \text{ (m}^3\text{)}$$

② 沉砂池设计成两格, 每格容积为

$$V_1 = \frac{1}{2} V = 72 \text{ (m}^3\text{)}$$

③ 每格沉砂池水流断面面积

$$A = \frac{Q_{\max}}{2v_1} = \frac{1.2}{2 \times 0.1} = 6.0 \text{ (m}^2\text{)}$$

④ 设曝气沉砂池过水断面形状如图 1-7 所示, 池宽 2.4 m, 池底坡度 0.5, 超高 0.6 m, 全池总深 3.9 m。

⑤ 曝气沉砂池实际过水断面面积

$$F = 2.4 \times 2.0 + \left( \frac{2.4 + 1.0}{2} \right) \times 0.7 = 6.0 \text{ (m}^2\text{)}$$

⑥ 池长

$$L = v_1 t = 0.1 \times 2.0 \times 60 = 12 \text{ (m)}$$

⑦ 沉砂斗容量 (砂斗断面为矩形, 长度同沉砂池)

$$V' = 0.6 \times 1.0 \times 12 = 7.2 \text{ (m}^3\text{)}$$

⑧ 每格沉砂池实际沉砂量

$$V'_1 = \frac{0.02 \times 0.6}{1000} \times 86400 \times 2 = 2.1 \text{ (m}^3\text{)} < 7.2 \text{ (m}^3\text{)}$$

⑨ 设曝气管浸水深度为 2.5 m, 查表 1-6 可得单位池长所需空气量为  $28 \text{ m}^3/(\text{m} \cdot \text{h})$ , 则所需空气量为

$$28 \times 12 \times (1 + 15\%) \times 2 \times \frac{1}{60} = 12.9 \text{ (m}^3/\text{min)}$$

式中,  $(1 + 15\%)$  为考虑到进出口条件而增加的池长。

取供气量为  $13 \text{ m}^3/\text{min}$ , 则每格沉砂池供气量为  $6.5 \text{ m}^3/\text{min}$ 。

### 3. 多尔沉砂池

多尔沉砂池是一个浅的方形水池, 如图 1-8 所示。在池的一边设有与池壁平行的进水槽, 并在整个池壁上设有整流器, 以调节和保持水流的均匀分布, 污水经沉砂池使砂粒沉淀, 在另一侧的出水堰溢流排出。沉砂池底的砂粒由刮砂机刮入排砂坑。砂粒用往复式刮砂机械或螺旋式输送机进行淘洗, 以去除有机物。刮砂机上装有桨板, 用以产生一股反方向的水流, 将从砂上洗下来的有机物带走, 回流到沉砂池中, 而淘净的砂粒及其他无机杂粒, 由排砂机排出。

多尔沉砂池的面积根据要求去除的砂粒直径和污水温度确定, 可查图 1-9。最大设计流速为  $0.3 \text{ m}/\text{s}$ 。多尔沉砂池的设计参数见表 1-7。