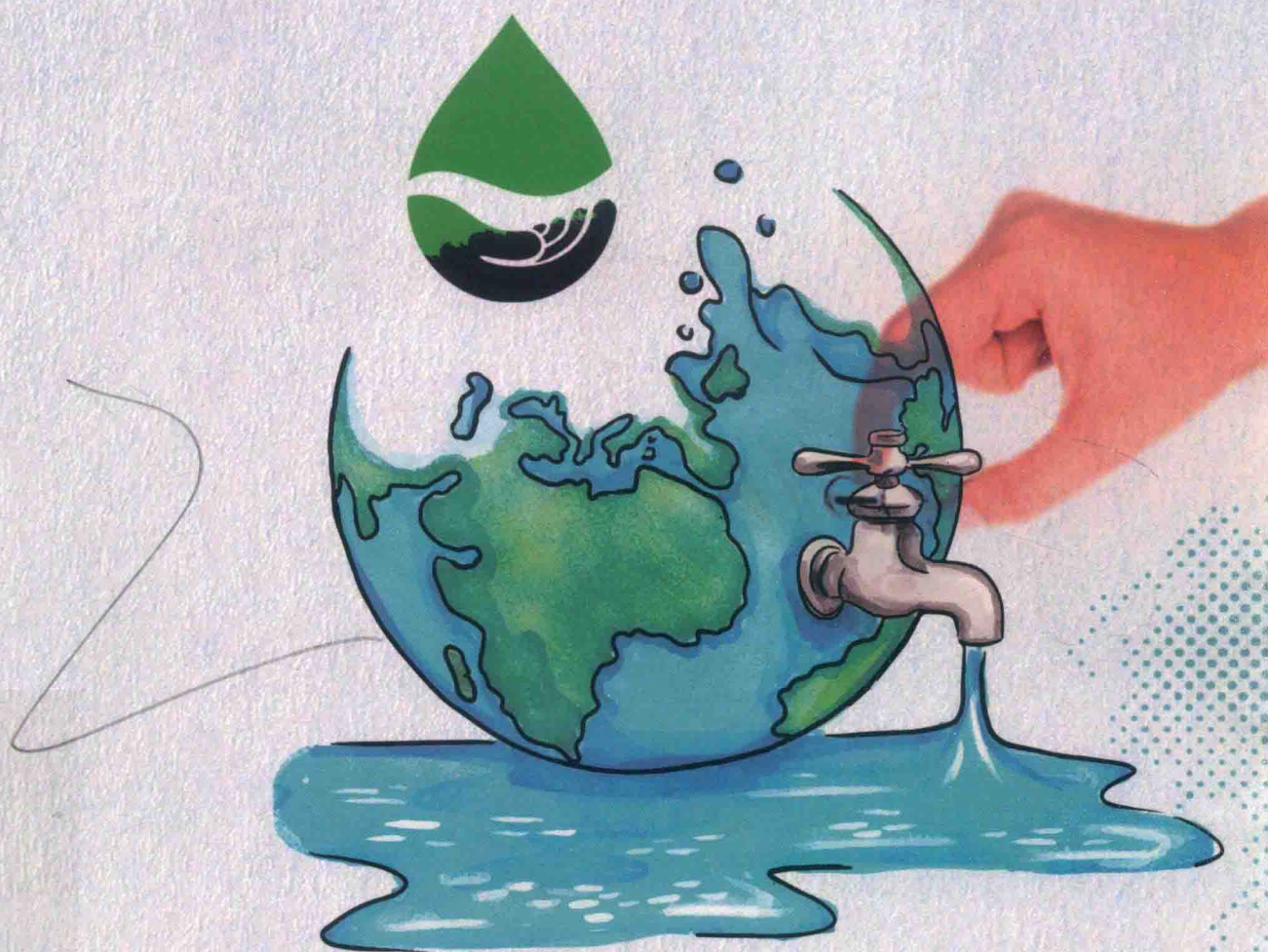


水污染控制工程

王金霞 邱小燕 刘生宝 主编



国家一级出版社  中国纺织出版社 全国百佳图书出版单位

水污染控制工程

王金霞 邱小燕 刘生宝 主编

 中国纺织出版社

内 容 提 要

本书系统阐述了各种常用废水处理技术的原理、工艺和主要设备的基本结构、主要工艺设计的步骤、内容和设计方法。本书前六章分别讲解了物理法、化学法、物理化学法和生物法处理水污染的有效方法；第七章到第九章讲解了自然净化处理、工业废水处理并延伸到污泥的处理；最后两章理论联系实际，讲解了城市污水回用和污水处理厂设计。通过对本书的学习，读者将系统掌握城市污水和工业废水处理技术的基本理论和工艺过程，具备解决水污染控制工程中具体技术问题的能力。

水污染控制工程

主编 王金霞 邱小燕 刘生宝

图书在版编目(CIP)数据

水污染控制工程 / 王金霞, 邱小燕, 刘生宝主编. —

北京: 中国纺织出版社, 2019.3

ISBN 978-7-5180-5690-3

I. ①水… II. ①王… ②邱… ③刘… III. ①水污染—污染控制 IV. ①X520.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 264193 号

策划编辑:沈 靖 责任校对:王花妮

责任印制:何 建

中国纺织出版社出版发行

地址:北京市朝阳区百子湾东里 A407 号楼 邮政编码:100124

销售电话:010-67004422 传真:010-87155801

<http://www.c-textilep.com>

E-mail:faxing@c-textilep.com

中国纺织出版社天猫旗舰店

官方微博 <http://weibo.com/2119887771>

北京虎彩文化传播有限公司印刷 各地新华书店经销

2019年3月第1版第1次印刷

开本:787×1092 1/16 印张:18.25

字数:319千字 定价:76.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社图书营销中心调换

前 言

随着我国经济社会的高速发展,产生了大量工业废水及生活污水,若不能被有效处理将严重威胁我国环境生态安全和社会可持续发展。为此,国家一方面积极加强与完善环境保护政策、法律法规,大力促进污水处理设施的建设进程;另一方面高度重视水污染控制工程技术人才的培养。

本书系统阐述了各种常用废水处理技术的原理、工艺,主要设备的基本结构,主要工艺设计的步骤、内容和设计方法。第二章到第六章分别介绍了物理法、化学法、物理化学法和生物法处理水污染的有效方法;第七章到第九章介绍了自然净化处理、工业废水处理并延伸到污泥的处理;最后两章理论联系实际,介绍了城市污水回用和污水处理厂设计。通过对本书的学习,读者将系统掌握城市污水和工业废水处理技术的基本理论和工艺过程,具备解决水污染控制工程中具体技术问题的能力。

本书可作为普通高等院校环境科学与工程专业教学用书,也可作为其他相近专业的教材或教学参考书,同时还可供从事环境工程设计、管理及科研工作的人员参考使用。

本书在编写过程中,吸收了以往相关教材的优点,参阅了近年来一些高校及设计部门的资料与相关文献,在此向所有文献的作者表示衷心感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在疏漏和错误之处,敬请广大读者批评指正。

编 者



目录

第一章 绪 论	1
第一节 水资源与水循环	1
第二节 水污染	3
第三节 污染物种类及水质指标	4
第二章 物理处理法	6
第一节 格栅	6
第二节 污水的均化	10
第三节 过滤	14
第四节 重力分离理论	17
第五节 沉砂池	20
第六节 沉淀池	25
第七节 隔油池	34
第八节 离心分离法	38
第九节 气浮法	41
第三章 化学处理法	51
第一节 混凝法	51
第二节 中和法	61
第三节 化学沉淀法	66
第四节 氧化还原法	71
第五节 电解法	79
第四章 物理化学处理法	83
第一节 吸附法	83
第二节 离子交换法	94



第三节	萃取法	100
第四节	渗透汽化	105
第五节	膜法水处理	111
第五章	生物膜处理法	125
第一节	生物膜法的基本原理	125
第二节	生物滤池	131
第三节	生物接触氧化	142
第四节	曝气生物滤池	147
第五节	生物转盘法	153
第六节	生物流化床	157
第七节	生物膜法的运行与管理	160
第八节	生物膜法的进展	161
第六章	厌氧生化处理法	162
第一节	厌氧生化法基本原理	163
第二节	厌氧生化处理工艺	170
第三节	厌氧生化法的设计计算	180
第四节	厌氧设备的运行管理	182
第七章	自然净化处理	185
第一节	稳定塘	185
第二节	土地处理系统	190
第三节	人工湿地系统	194
第八章	工业废水处理	199
第一节	概述	199
第二节	工业废水污染控制的基本策略与方式	203
第三节	工业废水污染治理技术途径	210
第四节	工业园区的废水处理	221
第九章	污泥的处理	226
第一节	污泥的来源和特性	226
第二节	污泥处理工艺	231



第三节	污泥浓缩	232
第四节	污泥稳定	235
第五节	污泥调理与脱水	242
第六节	污泥的最终处置	249
第十章	城市污水回用	252
第一节	回用途径	252
第二节	回用水水质标准	253
第三节	污水回用系统	255
第四节	回用处理技术方法	258
第五节	污水回用安全措施	262
第十一章	污水处理厂设计	265
第一节	概述	265
第二节	厂址选择	271
第三节	工艺流程的确定	272
第四节	平面布置与高程布置	275
第五节	污水处理厂运行和控制	282
参考文献	285



第一章 绪 论

第一节 水资源与水循环

一、水资源

水是人类生存和社会发展必不可少的物质,是地球上最宝贵的一种自然资源。

地球上水的总量约为 14.5 亿 km^3 ,其中淡水只占 2.5%,且主要分布在南北两极的冰雪中。目前,人类可以直接利用的只有地下水、湖泊淡水和河床水,三者总和约占地球总水量的 0.77%,除去不能开采的深层地下水,人类实际能利用的水仅占地球总水量的 0.26% 左右。

我国水资源总量为 2.8 万亿 m^3 ,人均 2 173 m^3 ,仅为世界人均水平的 1/4。我国水资源的特点是水资源不足、用水浪费、水污染严重,资源型缺水、工程型缺水和水质型缺水并存。并且我国水资源空间分布不平衡,总体上“南多北少”,长江以北水系流域面积占全国国土面积的 64%,而水资源量仅占 19%。目前全国 600 多个城市中,有 400 多个缺水,其中 100 多个严重缺水,北京、天津等大城市的供水形势最为严峻。

二、水循环

地球上的水始终处于循环运动之中,水循环具有自然循环和社会循环两种类型。

(一)自然循环

地球表面上的水在太阳辐射下受热蒸发为水蒸气,水蒸气升至空中形成云,并被气流输送至各地,在适当条件下凝结而形成降水,降落在陆地上的雨雪转化为地表径流和地下径流,最后又回归海洋。因此自然界的水通过蒸发、输送、降水、渗透等环节不停地流动和转化,从海洋到天空,再到陆地,最后又回到海洋,这种循环就构成了水的自然循环,如图 1-1-1 所示。全世界自然水文循环总量为 57.7 万 km^3/a ,地表、地下径流总量为 4.7 万 km^3/a 。

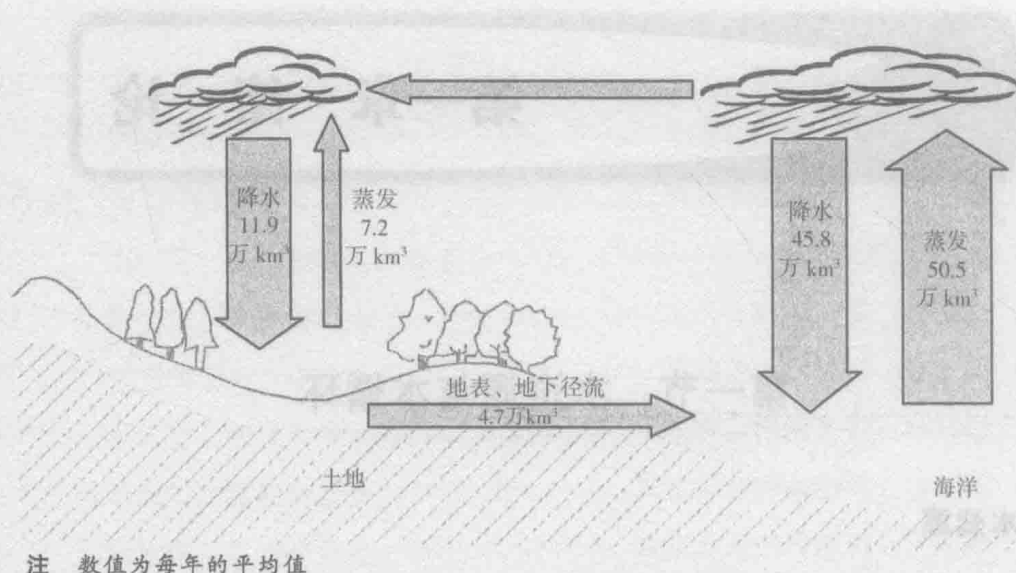


图 1-1-1 水的自然循环

(二) 社会循环

人类以各种自然水体为水源用于生活和生产,使用后的水就变成被污染的水,简称为废水或污水,被排出的污水最后又流入自然水体,这样在人类社会中构成的局部循环系统称为水的社会循环,如图 1-1-2 所示。

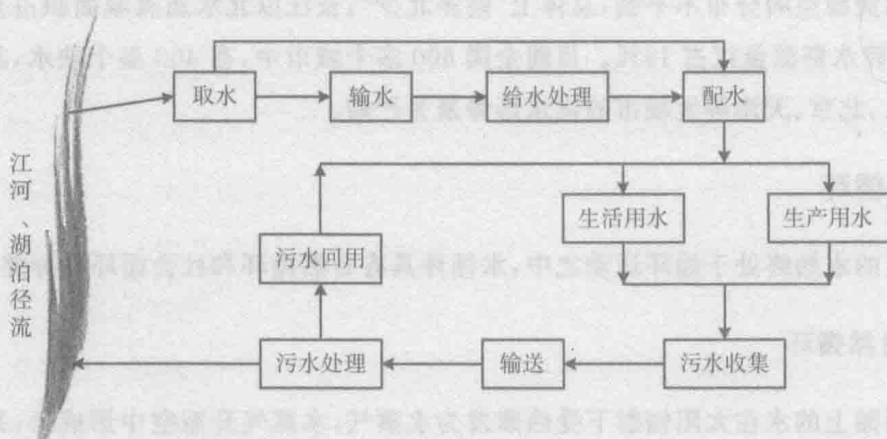


图 1-1-2 水的社会循环

在水的社会循环中,显示出人与自然在水量和水质方面存在巨大矛盾,集中表现在废水的排放对水体、土壤、大气等的污染,即水污染。



第二节 水污染

一、水体污染

水体污染是指污染物进入河流、湖泊、海洋或地下水等水体,使水体的水质和沉积物的物理性质、化学性质或生物群落组成发生变化,从而降低水体的使用价值和使用功能的现象。污染物进入水体的主要途径为人口集中区域的生活污水排放、工业生产过程中产生的废水排放,使用农药或化肥的农田排水、大气中的污染物随降水进入地表水体,固体废弃物堆放场地因雨水冲刷、渗漏,或固体废弃物被抛入水体等,从而使水体造成污染。其中废水排放是造成水污染的主要原因。

废水的分类有多种方法,根据废水的来源可分为生活污水和工业废水两大类,通常将城镇生活污水、工业废水和雨水的混合废水称为城市污水,它是城市通过下水管道收集到的所有排水;按照污染物的化学类别,废水又可分为无机废水和有机废水;废水还可以根据毒物的种类分类,以表明主要毒物;也可以按照工业行业或生产工艺名称来分类。

二、水体污染物

水体污染物种类繁多,可以用不同方法、标准或从不同的角度进行分类。从环境工程的角度,水体污染物可以分为固体污染物、需氧污染物、有毒污染物、营养性污染物、生物污染物、酸碱污染物、感官污染物、油类污染物和热污染物等。

三、水体污染的危害

水体污染造成的危害极大,包括对人类健康、公共事业、工业生产、农业生产、生态系统、水资源、旅游资源等诸多方面的危害。对人类的危害主要表现在以下三个方面。

(一)对人类健康的危害

水体污染对人类健康的危害最严重,特别是重金属、有毒有害有机污染物和病原微生物等。目前,已知疾病中约80%与水污染有关,一方面许多疾病通过水体媒介传播,另一方面,许多化学药品和重金属污染人类饮用水水源,引发癌症、心血管病等多种疾病。

(二)对工农业生产的危害

电子工业、食品工业等行业对用水水质的要求比较高,水中污染物会影响产品质量。此外,废水中的有毒有害物质不仅污染土壤,恶化土质,而且会造成农作物、森林等受损或



死亡。

(三)对生态系统的危害

水体污染会严重干扰自然界的生态系统,水中的有毒有害有机物、重金属、石油、农药等会使水生生物(如鱼类等)大量死亡;水中的环境激素(又称为内分泌干扰物)对水生动物的生殖系统产生影响,会造成某些物种灭绝,又因其迁移转化和生物富集等对人类产生潜在危害。

第三节 污染物种类及水质指标

一、污染物的种类

废水中的污染物种类大致可分为:无机无毒物、无机有毒物、耗氧有机物、植物营养物、有机有毒物、病原微生物、放射污染物、热污染等。水体中的污染物大致分类见表 1-3-1。

表 1-3-1 水体中的污染物

分 类	主要污染物
无机无毒物	水溶性氧化物、硫酸盐、酸、碱等无机酸、碱、盐中无毒物质
无机有毒物	铝、汞、砷、镉、铬、氟化物、氰化物等重金属元素及无机有毒化学物质
耗氧有机物	碳水化合物、蛋白质、油脂、氨基酸等
植物营养物	铵盐、磷酸盐和磷、钾等
有机有毒物	酚类、有机磷农药、有机氯农药、多环芳烃、苯等
病原微生物	病菌、病毒、寄生虫等
放射污染物	铀、镭、铯等
热污染	含热废水

二、水质指标

水质指标是指水和其中所含杂质共同表现出来的物理、化学和生物学的综合特性。各项水质指标表示水中杂质的种类、成分和数量,是判断水质的具体衡量指标。水质指标种类很多,有上百项。它们可以分为物理性、化学性和生物学三类。

1. 物理性水质指标

(1) 感官物理性指标:温度、色度、嗅味、浑浊度、透明度等。

(2) 其他物理性水质指标:总固体、悬浮固体、溶解固体、可沉固体、电导率等。



2. 化学性水质指标

(1)一般化学性水质指标:pH、碱度、硬度、各种阴(阳)离子、总含盐量等。

(2)有毒的化学性水质指标:各种重金属、氰化物、多环芳烃、各种农药等。

(3)氧平衡指标:溶解氧(DO)、生化需氧量(BOD)、化学需氧量(COD)、总有机碳(TOC)、总需氧量(TOD)等。

3. 生物学水质指标

包括细菌总数、总大肠杆菌群数、各种病原细菌、病毒等。



第二章 物理处理法

废水物理处理法是通过物理作用分离和去除废水中不溶解的呈悬浮状态的污染物(包括油膜、油珠)的方法,处理过程中,污染物的化学性质不发生变化。废水物理处理法是最基本最常用的一类处理生活污水或工业废水的单元技术,常用作废(污)水的一级治理或预处理,也可单独应用。物理处理法主要是用来分离或回收废水中的悬浮性物质,它在处理的过程中不改变污染物质的组成和化学性质。常用的物理处理方法有:调节、重力分离法、离心分离法、过滤、热处理、磁分离等。不同处理方法的处理对象、适用范围不同。一般情况下,物理处理法所需的投资和运行费用较低,故常被优先考虑或采用。然而,对于大多数的工业废水来说,单纯依靠物理方法净化,往往不能达到理想的处理结果,还需与其他的治理方法配合使用。

第一节 格 栅

一、格栅的作用及种类

1. 格栅的作用

格栅是由一组或多组互相平行的金属栅条与框架组成,倾斜安装在进水的渠道,或进水泵站集水井的进口处,以拦截污水中粗大的悬浮物及杂质。在排水工程中,格栅的作用是去除可能堵塞水泵机组及管道阀门的较粗大悬浮物,并保证后续处理设施能正常运行,一般以不堵塞水泵和水处理厂站的处理设备为原则。

2. 格栅的分类

格栅除污设备形式多种多样,格栅按形状可分为平面格栅和曲面格栅两种;按格栅栅条的间隙,可分为粗格栅、中格栅、细格栅三种;按结构形式及除渣方式可分为人工格栅和机械格栅两大类,机械格栅又可分为回转式、旋转式、齿耙式等多种形式。

平面格栅由栅条与框架组成。基本形式如图 2-1-1 所示。图中 A 型是栅条布置在框架的外侧,适用于机械清渣或人工清渣;B 型是栅条布置在框架的内侧,在格栅的顶部设有起吊架,可将格栅吊起,进行人工清渣。

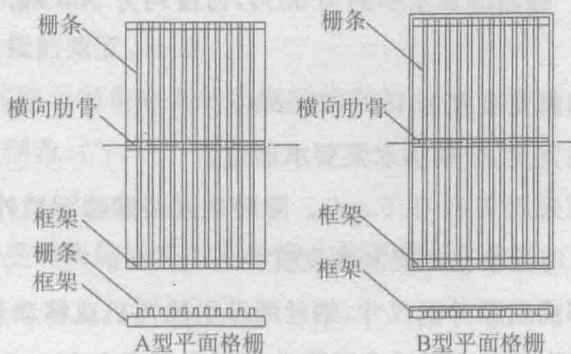


图 2-1-1 平面格栅

曲面格栅又可分为固定曲面格栅(栅条用不锈钢制)与旋转鼓筒式格栅两种。图 2-1-2 为固定曲面格栅,利用渠道水流速度推动除渣桨板。图 2-1-3 为旋转鼓筒式格栅,污水从鼓筒内向鼓筒外流动,被隔除的栅渣,由冲洗水管冲入渣槽(带网眼)内排出。

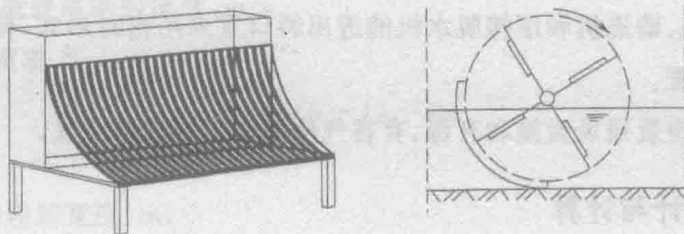


图 2-1-2 固定曲面格栅

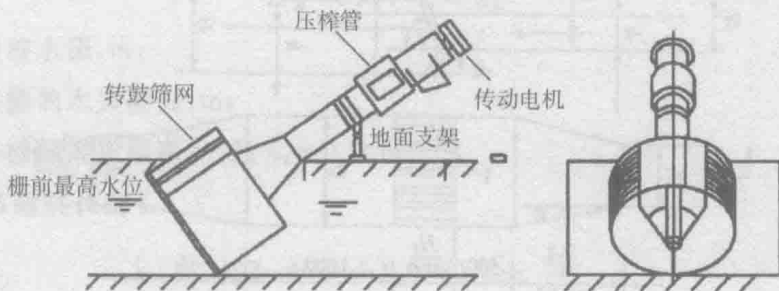


图 2-1-3 旋转鼓筒式格栅

3. 格栅的设计要求

格栅所截留的污染物数量与地区的情况、污水沟道系统的类型、污水流量以及栅条的间距等因素有关,格栅设计应该符合下列要求。

(1)粗格栅。机械清除时,栅条间隙宽度宜为 16~25 mm,栅渣截留量为 0.10~0.05 m³/(10³ m³污水);人工清除时,栅条间隙宽度宜为 25~40 mm,栅渣截留量为 0.03~



0.01 m³/(10³ m³污水)。栅渣的含水率约为 80%，密度约为 960 kg/m³。特殊情况下，最大间隙可为 100 mm。

(2) 细格栅。栅条间隙宽度宜为 1.5~10 mm。

(3) 水泵前栅条间隙宽度，应根据水泵要求确定。

(4) 污水过栅流速宜采用 0.6~1.0 m/s。除转鼓式格栅除污机外，机械清除格栅的安装角度宜为 60°~90°，人工清除格栅的安装角度宜为 30°~60°。

(5) 格栅除污机底部前端距井壁尺寸，钢丝绳牵引除污机或移动悬吊葫芦抓斗式除污机应大于 1.5 m；链动刮板除污机或回转式固液分离机应大于 1.0 m。

(6) 格栅上部必须设置工作平台，其高度应高出格栅前最高设计水位 0.5 m，工作平台上应有安全和冲洗设施。

(7) 格栅工作平台两侧边道宽度宜采用 0.7~1.0 m。工作平台正面过道宽度，采用机械清除时不应小于 1.5 m，采用人工清除时不应小于 1.2 m。

(8) 粗格栅栅渣宜采用带式输送机输送，细格栅栅渣宜采用螺旋输送机输送。

(9) 格栅除污机、输送机和压榨脱水机的进出料口宜采用密封形式，根据周围环境情况，可设置除臭处理装置。

(10) 格栅间应设置通风设施和有毒、有害气体的检测与报警装置。

二、格栅的设计与计算

格栅设计如图 2-1-4 所示。

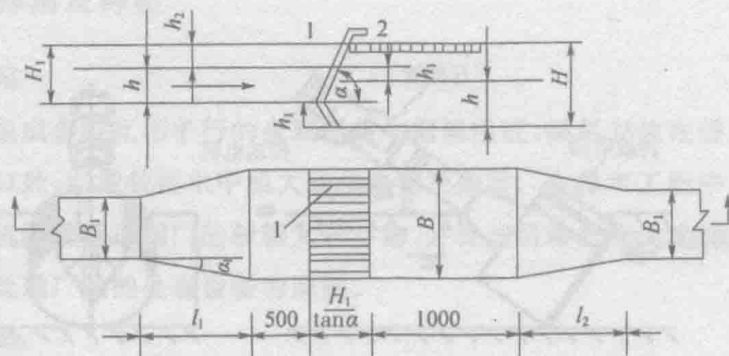


图 2-1-4 格栅设计

1—栅条；2—工作台

通过格栅的水头损失 h_1 的计算：

$$h_1 = h_0 k \quad (2-1)$$

$$h_0 = \xi \frac{v^2}{2g} \sin \alpha$$

(2-2)



式中： h_0 ——计算水头损失，m；

v ——污水流经格栅的速度，m/s；

ξ ——阻力系数，其值与栅条断面的几何形状有关；

α ——格栅的放置倾角，(°)；

g ——重力加速度，m/s²；

k ——考虑到格栅受污染物堵塞后阻力增大的系数，可用式 $k = 3.36v - 1.32$ 求定，一般采用 $k = 3$ 。

1. 格栅的间隙数量 n

$$n = \frac{Q_{\max} \sqrt{\sin \alpha}}{dhv} \quad (2-3)$$

式中： Q_{\max} ——最大设计流量，m³/s；

d ——栅条间距，m；

h ——栅前水深，m；

v ——污水流经格栅的速度，m/s。

2. 格栅的建筑宽度 B

$$B = s(n-1) + dn \quad (2-4)$$

式中： B ——格栅的建筑宽度，m；

s ——栅条宽度，m。

3. 栅后槽的总高度 $H_{\text{总}}$

$$H_{\text{总}} = h + h_1 + h_2 \quad (2-5)$$

式中： h ——栅前水深，m；

h_1 ——格栅的水头损失，m；

h_2 ——格栅前渠道超高，一般 $h_2 = 0.3$ m。

4. 格栅的总建筑长度 L

$$L = l_1 + l_2 + 1.0 + 0.5 + \frac{H_1}{\tan \alpha} \quad (2-6)$$

式中： l_1 ——进水渠道渐宽部位的长度，m；

l_2 ——格栅槽与出水渠道连接处的渐窄部位的长度，一般 $l_2 = 0.5 l_1$ ；

H_1 ——格栅前的渠道深度，m。

$$l_1 = \frac{B - B_1}{2 \tan \alpha_1} \quad (2-7)$$

式中： B_1 ——进水渠道宽度，m；

α_1 ——进水渠道渐宽部位的展开角度，一般 $\alpha_1 = 20^\circ$ 。



5. 每日栅渣量 W

$$W = \frac{Q_{\max} W_1 \times 86\,400}{K_z \times 1\,000} \quad (2-8)$$

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

K_z ——生活污水流量总变化系数。

第二节 污水的均化

废水的水量水质并不总是恒定均匀的,往往随时间的推移而变化。生活污水随生活作息规律而变化,工业废水的水量水质随生产过程而变化。水量水质的变化使处理设备不能在最佳工艺条件下运行,严重时使设备无法正常工作,为此要设调节池,进行水量水质的调节。调节功能包括水量调节、水质调节、水温调节、酸碱调节、间歇式调节、事故调节等几个方面。

一、水量调节

废水处理中单纯的水量调节有两种形式。一种为线内调节(图 2-2-1),进水一般采用重力流,出水用泵提升。调节池的容积可用图解法进行计算。实际上由于废水流量变化的规律性差,所以调节池容积的设计一般凭经验确定。另一种为线外调节(图 2-2-2),调节池设在旁路上,当废水流量过高时,多余的废水打入调节池,当废水流量低于设计流量时,再从调节池回流集水井,并送去预处理。线外调节与线内调节相比,其调节池不受进水管高度的限制,但被调节水量需要两次提升,动力消耗大。

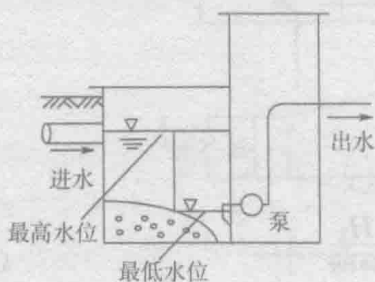


图 2-2-1 线内水量调节池

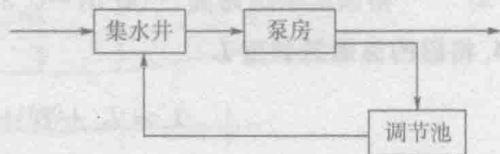


图 2-2-2 线外水量调节池

水量调节池的计算方法如下。

1. 绘制流量日变化曲线

要进行水量调节,首先要了解污水流量的变化规律。一般以污水流量在一日之内随时间变化情况作为计算的基础。把一日之内逐时的瞬时流量(m^3/s 或 m^3/h)与时间(h)的变化规律绘成曲线,即称流量日变化曲线,如图 2-2-3 所示。根据这一曲线,便可以确定每日需