



1

17.1 概述

2

17.2 污泥的浓缩工艺

3

17.3 污泥的调理

4

17.4 污泥的脱水与干化工艺

5

17.5 污泥的干燥与焚化



1

17.1 概述

2

17.2 污泥的浓缩工艺

3

17.3 污泥的调理

4

17.4 污泥的脱水与干化工艺

5

17.5 污泥的干燥与焚化

§ 17.1 概 述

污泥处理与处置的重要性

1. 确保污水处理效果，防止二次污染
2. 使容易腐化发臭的有机物得到稳定处理
3. 使有毒有害物质得到妥善处理或利用
4. 减量、稳定、无害化及综合利用

污泥处理与处置问题是污水处理过程中产生的新问题，包括：

1. 含有大量有害有毒物质，如寄生虫卵、病原微生物、细菌、合成有机物及重金属离子等，易造成二次污染。
2. 污泥量大，约占处理水量的0.3%~0.5%（体积），如进行深度处理，其量还可增加0.5~1.0倍。
3. 处理污泥费用约占全部基建费用的20%~50%，甚至70%。



17.1.1 污泥的来源

栅渣——格栅或滤网，呈垃圾状，量少，易处理和处置

浮渣——上浮渣和气浮池，可能多含油脂等，量少

沉砂池沉渣——沉砂池，比重较大的无机颗粒，量少

初沉污泥——初沉池，以无机物为主，数量较大，
易腐化发臭，可能含有虫卵和病变菌，
是污泥处理的主要对象，属于生物泥。



17.1.1 污泥的来源

- 二沉污泥——二沉池，剩余活性污泥，含大量有机质，含水率高，易腐化发臭，难脱水，是污泥处理的主要对象，属于生物泥；
- 消化污泥——来自污泥消化池，又称熟污泥。
- 化学污泥——多来自工业废水处理，投加药剂所致。



17.1.2 污泥的性质指标

1. 含水率与含固率

含水率是污泥中含水量的百分数

含固率则是污泥中固体或干污泥含量的百分数，

湿泥量与含固率的乘积就是污泥量。

含水率降低（即含固量提高）将大大降低湿泥量（即污泥体积）；
通常：含水率 > 85%，污泥呈流状；65~85%，污泥呈塑态； < 65%，呈固态。



17.1.2 污泥的性质指标

1. 含水率与含固率

(3) 含水率发生变化时，可用下式近似计算湿污泥的体积

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{W_1}{W_2} = \frac{100 - P_2}{100 - P_1} = \frac{C_2}{C_1}$$

式中：

P_1 、 V_1 、 W_1 、 C_1 ：污泥含水率为 P_1 时的污泥体积、重量、浓度；

P_2 、 V_2 、 W_2 、 C_2 ：污泥含水率为 P_2 时的污泥体积、重量、浓度。

17. 1. 2 污泥的性质指标

1. 含水率与含固率

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{W_1}{W_2} = \frac{100 - P_2}{100 - P_1} = \frac{C_2}{C_1}$$

从上式可看出当污泥含水率由**99%**降至**98%**，
98%降至**96%**，由**97%**降到**94%**，污泥体积均能减少一半。
即污泥含水率越高，降低污泥含水率对减容的作用则越大。

上式适用于含水率大于65%的污泥。因含水率低于65%以后，污泥内出现很多气泡，体积与重量不再符合式中表示的关系。

17.1.2 污泥的性质指标

1. 含水率与含固率

例： 污泥的原始含水率为99.5%，求含水率为98.5%、95%时污泥体积降低的比例。设：

V_1 为污泥含水率99.5%时的污泥体积、

V_2 、 V_3 为污泥含水率98.5%、95%时的污泥体积。

将各值代入下式：

$$V_1 / V_2 = (100 - 98.5) / (100 - 99.5) = 3$$

$$V_1 / V_3 = (100 - 95) / (100 - 99.5) = 10$$

因此，当污泥含水率自99.5%（含固率为0.5%时）降至98.5%（含固率为1.5%时），其体积缩减至原污泥的1/3，再降至95%（含固率为5%时），其体积缩减至原污泥的1/10。

17.1.2 污泥的性质指标

2. 挥发性固体

指污泥在 600°C 的燃烧炉中被燃烧，并以气体逸出的那部分固体。或称灼烧减量（即VSS）。

常用于表示污泥中的有机物的量；
有机物含量越高，污泥的稳定性就更差。

单位为 mg/L ，或用重量百分数表示。



17.1.2 污泥的性质指标

3. 有毒有害物质

- ★ 含有一定量的N(4%)、P(2.5%)和K(0.5%)，
有一定肥效，可改良土壤；
- ★ 含有病菌、病毒、寄生虫卵等，
在施用之前应有必要的处理。
- ★ 重金属是其中主要有害物质，
超过规定含量的污泥不能做农肥。

17.1.2 污泥的性质指标

4. 脱水性能

 污泥过滤比阻抗值(r):

单位干重滤饼的阻力，其值越大，越难过滤，
脱水性能越差。

其公式为：

$$r = \frac{2 b P A^2}{\mu P_c}$$

b —与污泥性质有关的数值， s/m^6 ；

P —过滤的压力（滤布前后的压力差）， N/m^2 ；

A —过滤面积， m^2 ；

μ —滤出液的动力粘滞度， $N.s/m^2$ ；

P_c —单位体积滤出液所得滤饼的干重， Kg/m^3 。

17.1.2 污泥的性质指标

4. 脱水性能



毛细管吸水时间 (Capillary Suction Time, 简称CST):

其值等于污泥与滤纸接触时, 由于毛细作用水分在滤纸上渗透1cm长度所需的时间, 计为s。

实验表明, CST的对数值与比阻抗值(r)呈线性关系。

比阻抗值(r)越大, CST值越大, 则污泥脱水性能越差。

17.1.3 污泥中的水分及其影响

素材\污泥水分.swf见图污泥水分

1 游离水

又称间隙水，存在于污泥颗粒间隙中的水，

占污泥水份的**70%**左右，一般可借助重力或离心力分离。

2 毛细水

存在污泥颗粒间的毛细管中，约占**20%**，需要更大的外力。

3 内部水

包括存在于污泥颗粒内部（包括细胞内的水）和粘附于颗粒或细胞表面的水。约占**10%**，只有干化时才能分离。

17. 1. 3 污泥中的水分及其影响

4 污泥处理方法选择

☑ 污泥含水率及其状态

含水率	污泥状态
90%以上	几乎为液体
80%~90%	粥状物
70%~80%	柔软状
60%~70%	几乎为固体
50%	粘土状

17.1.3 污泥中的水分及其影响

污泥处理方法选择

污泥处理方法选择依据

① 污泥的含水率

② 污泥的处置方式

污泥含水率大于**98%**，考虑浓缩使含水率降至**96%**，减少污泥体积，以利于后续处理。

为处置运输，则要污泥脱水，含水率降至**80%**以下，失去流态。
为填埋，含水率降至**60%**以下，
则用压滤机脱水。

17.1.4 污泥量

1. 初沉池污泥量

(1) 公式一:

$$V_1 = \frac{100 \rho_0 \eta Q}{10^3 (100 - P) \rho}$$

进水悬浮物浓度, mg/L

沉淀池中悬浮物去除率, %

污水流量, m³/d

初沉池污泥量, m³/d

污泥含水率, %

污泥密度, 以1000kg/m³计。

17.1.4 污泥量

1. 初沉池污泥量

每人每天产生污泥量，一般0.3~0.8 L/d. 人

(2) 公式二:

$$V_1 = \frac{SN}{1000}$$

设计人口数，人

初沉池污泥量，m³/d

17.1.4 污泥量

2. 二沉池污泥（剩余活性污泥量）

(1) 公式一

污泥产率系数

污泥自身氧化率

$$\Delta X_T = \frac{\Delta X}{f} = (aQL_r - bX_v V) / f$$

挥发性剩余污泥
量, Kgvss/d

平均日流量, m³/d

曝气池容积, m³

MLVSS/MLSS, 0.75

MLVSS, mg/L

17.1.4 污泥量

2. 二沉池污泥（剩余活性污泥量）

（1）公式一

$$\Delta X_T = \frac{\Delta X}{f} = (aQL_r - bX_v V) / f$$

- 说明：
- ①该公式表示的是剩余污泥量以SS（悬浮固体）来计算。
 - ②若将f去掉，则是剩余污泥量以VSS挥发性固体来计算。
 - ③污泥量以重量计。

17.1.4 污泥量

2. 二沉池污泥（剩余活性污泥量）

(2) 公式二

产生的剩余活性污泥， Kg/d

$$V_2 = \frac{\Delta X}{(1-P)1000}$$

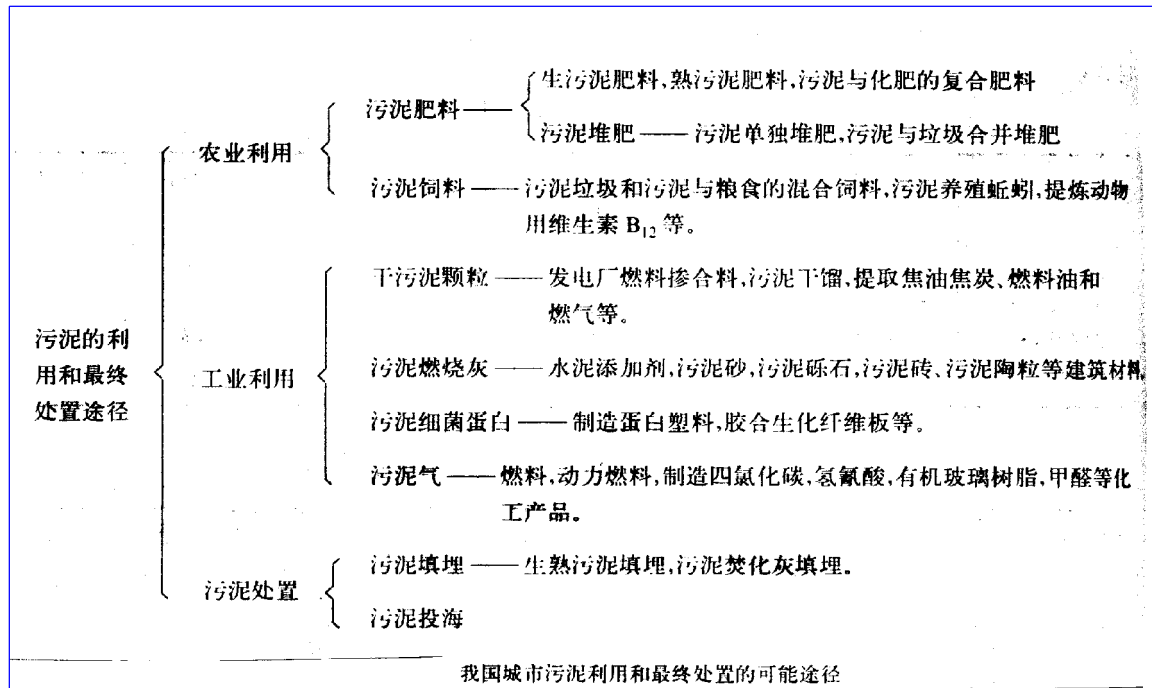
剩余活性污泥量， m³/d

污泥含水率， %

污泥的密度， Kg/m³

说明：此时污泥量以体积计。

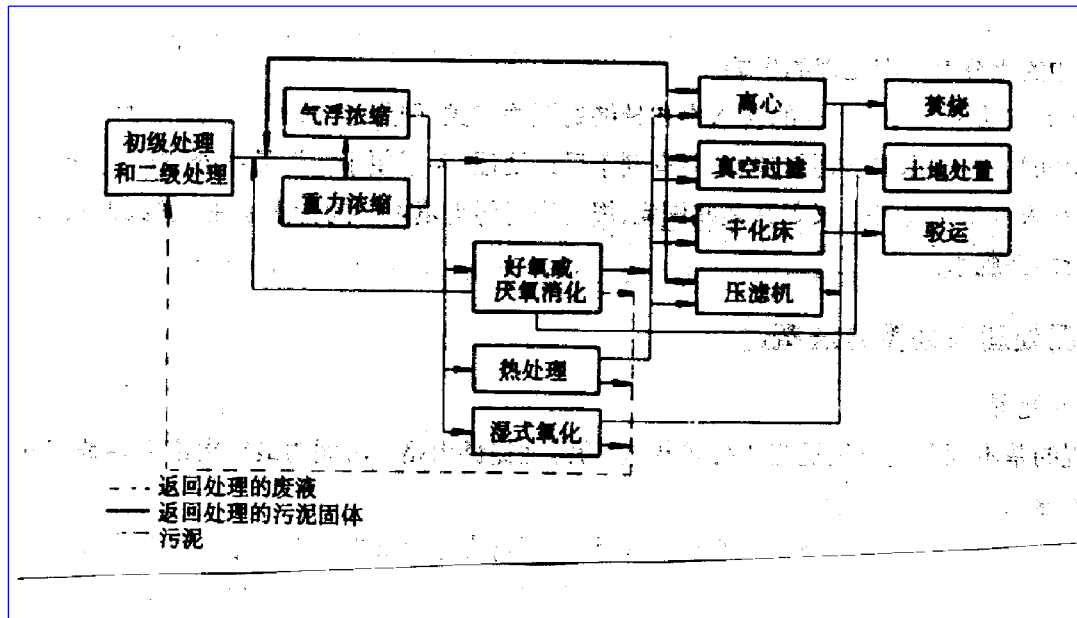
17.1.5 污泥处理后的最终出路



污泥中的氮、磷、钾元素是农作物所需，而其中的腐殖质是较好的土壤改良剂，但重金属、病原体等必须符合有关的标准；建筑商一般作建材；填埋时需考虑是否会污染地下水，填埋场的渗滤液及场地径流要适当处理排放；焚烧视为高温，所需设备及运行费用较大；海洋投放的远期影响可能较大，还未证实。

17.1.6 污泥处置前的处理工艺

见图污泥最终处置与利用



先浓缩体积可减少2/3，含水率仍有90%以上，需要脱水，在脱水之前，为防止污泥发生腐败、污染环境，需对其进行降解，即稳定。

§ 17.2 污泥的浓缩工艺

17.2.1 污泥浓缩的目的及分类

1. 目的

- 降低污泥含水率，降低污泥体积，即减容；
- 降低后续处理的费用

2. 分类

- 重力浓缩法
- 气浮浓缩法
- 离心浓缩法



17. 2. 2 污泥浓缩工艺介绍

1. 重力浓缩法

(1) 适用范围：

密度较大的浓缩初沉污泥、初沉污泥和剩余活性污泥的混合污泥。

(2) 特点：

a. 贮泥能力强；

b. 动力消耗小、运行费用低、操作简便；

c. 占地面积较大、浓缩效果较差，浓缩后污泥含水率高；

d. 易发酵产生臭气。

17.2.2 污泥浓缩工艺介绍

1. 重力浓缩法

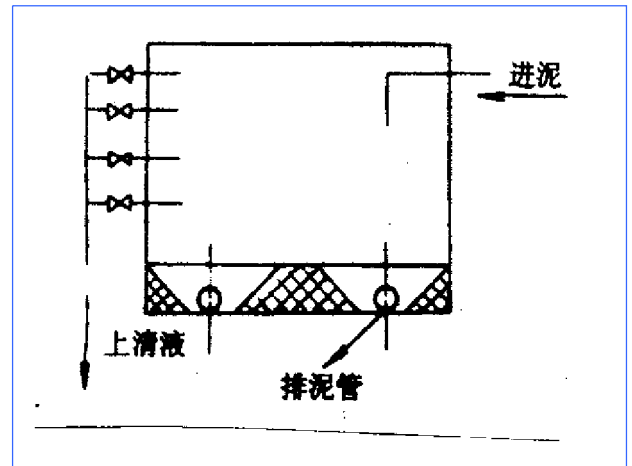
(3) 间歇式污泥浓缩池：

- a. 构型：矩型或圆型
- b. 适用：小型污水处理厂；
- c. 主要参数：

停留时间=9-12小时；

有效水深采用1-1.5米；

池底坡度1%；



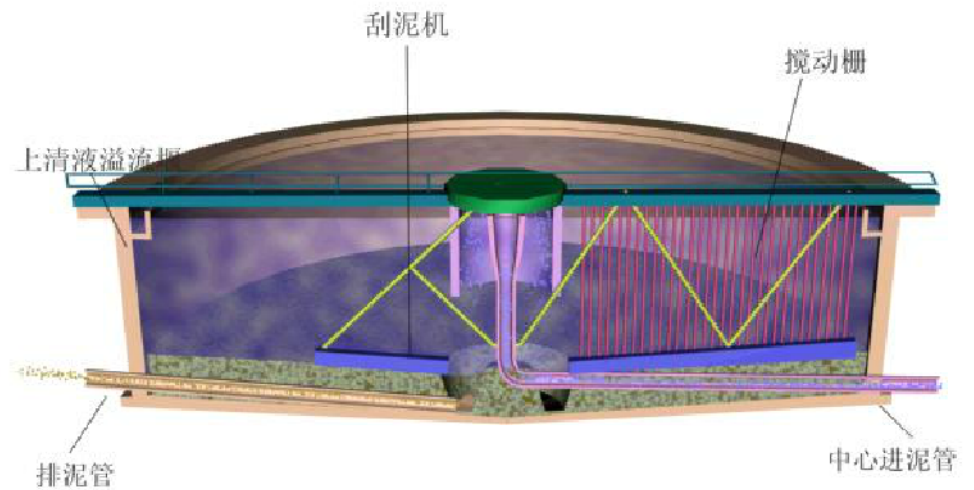
间歇浓缩池主要设计参数是停留时间，太长会使池子占地面积加大，造成污泥厌氧发酵，破坏浓缩；但也不能太短，否则会使浓缩效果不好，一般不超过24小时，试验确定。

17.2.2 污泥浓缩工艺介绍

1. 重力浓缩法

(4) 连续式污泥浓缩池

a. 池型： 竖流式（辐流式）



见图重力浓缩原理



连续式重力浓缩池

17.2.2 污泥浓缩工艺介绍

b. 主要设计参数:

① 固体通量 (G) : 单位时间内, 通过浓缩池任一断面的干固体量

[Kg/(m²·h)] ; $A=M/G$
单位时间内流过浓缩池污泥重量

② 水力负荷 (q): 单位时间内, 通过单位浓缩池表面积的上清液

溢流量 [m³/(m²·h)] ; $A=V/q$
单位时间内流过浓缩池污泥的体积

③ 水力停留时间 (h) : 10-16h;

④ 有效水深: 4m。

(5) 连续式污泥浓缩池设计要点:

- ①按固体通量计算浓缩池面积之后，
要和按水力负荷核算的面积相比较，取大值。
- ②初沉污泥最大水力负荷： **$1.2-1.6 \text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$** ；
- ③剩余活性污泥水力负荷： **$0.2-0.4 \text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$** ；
- ④采用竖流式浓缩池，水深按沉淀部分的上升流速 $\leq 0.1 \text{ mm/s}$ 计算；
- ⑤浓缩池容积按污泥停留时间 **$10-16 \text{ h}$** 核算，不宜过长。

17.2.2 污泥浓缩工艺介绍

2. 气浮浓缩法

(1) 适用范围：

密度接近于1的疏水污泥或易膨胀的污泥，（含油或表面活性剂）。

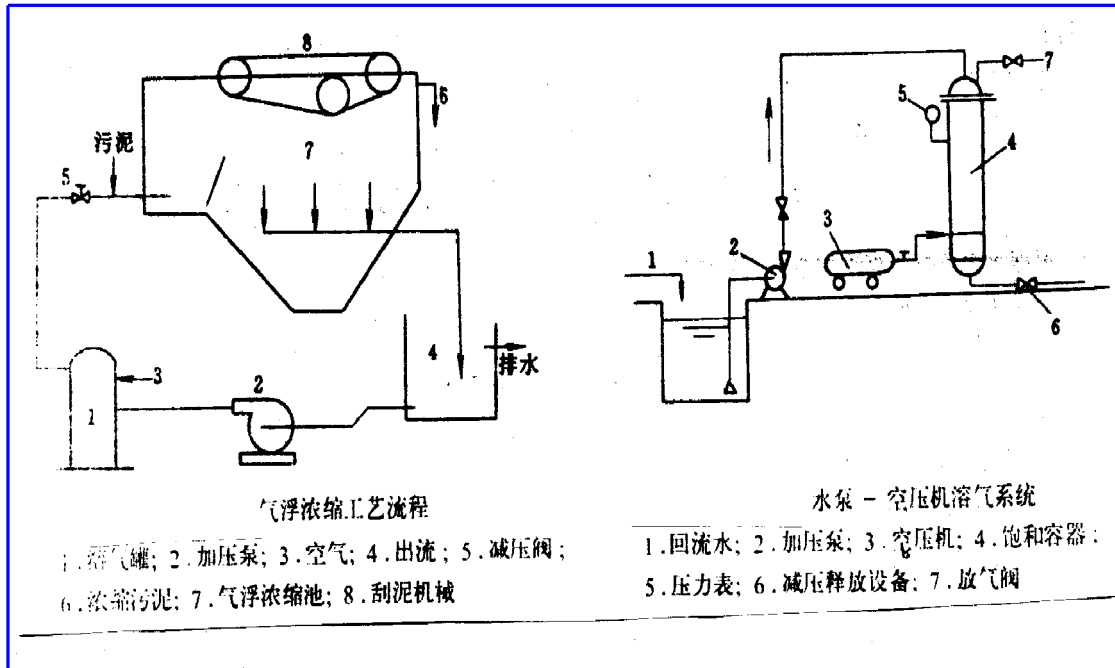
(2) 方法特点：

- a. 占地面积小，浓缩效果较好，浓缩后污泥，含水率较低；
- b. 同时去除油脂，臭气较少；
- c. 污泥贮存能力较小；
- d. 动力消耗、操作要求较高。

17.2.2 污泥浓缩工艺介绍

2. 气浮浓缩法

(3) 工艺流程:



17.2.2 污泥浓缩工艺介绍

2. 气浮浓缩法

(4) 设计计算主要参数：

a. 污泥负荷，参考表20-4。

b. 气固比（ A_s ）：

溶气水经减压释放的空气量与浓缩固体重量 的比值。

c. 水力负荷

d. 回流比（ R ）：

加压溶气水量与需要浓缩的污泥量的体积比。

17.2.2 污泥浓缩工艺介绍

(5) 参数取值:

- a. 有条件时，应进行试验测得不同压力下、不同污泥负荷、水力符合时的污泥浓缩效果及出水的悬浮固体浓度、回流比和气固比。
- b. 无条件时，气固比 (A_s) 一般取0.01-0.04；
水力负荷取40-80m³/m². d；
回流比 (R) 取25%-35%，也可按所需空气来计算。

17.2.2 污泥浓缩工艺介绍

c. 根据所需空气按下式计算回流比：

$$A_s = \frac{A_a}{S} = \frac{S_a R (fP - 1)}{\rho_0}$$

式中：

A_s —气固比；

A_a —所需空气量，g/h；

S —进入气浮池的固体总量，g/h；

S_a —一定温度下，1atm时的空气饱和溶解度，mg/L；

ρ_0 —入流污泥浓度，g/m³；

R —回流比；

P —绝对大气压，Pa；

f —溶解效率，当溶气罐内加填料且溶气时间为2-3min， $f=0.9$ ，不加填料时， $f=0.5$ 。

17.2.2 污泥浓缩工艺介绍

2. 气浮浓缩法

(6) 设计计算:

d. 例子:

见P286, 自学。

★注意:

在水力符合校核所计算的气浮池面积时,
所得的水力符合只要在40-80之间即为符合要求。

17. 2. 2 污泥浓缩工艺介绍

3. 离心浓缩法

(1) 原理：

- a. 利用固、液密度不同，在高速旋转的离心机中具有不同的离心力而使二者分离。
- b. 污泥在其中的HRT仅为**3min**，而出泥的含水率可达到**96%**以下。

(2) 适用范围：

- a. 剩余活性污泥等难脱水的污泥
- b. 场地狭小、不易设置重力浓缩池的场合。

17.2.2 污泥浓缩工艺介绍

3. 离心浓缩法

(3) 特点：

- a. 占地面积很小，处理能力大；
- b. 浓缩后污泥含水率低；
- c. 全封闭无臭气发生；
- d. 有时需添加助凝剂；
- e. 电耗大；

同气浮法相比，为获得较低含水率（ $<96\%$ ）的污泥，一般需添加PFS（聚合硫酸铁）、PAM（聚丙烯酰胺）等助凝剂，故运行费增高；另外，其电耗大，在达到相同浓缩效果下，其电耗是气浮法的10倍。

§ 17.3 污泥的调理

17.3.1 污泥调理的原因

- 1、污泥颗粒越小，比表面积越大（按指数规律增大），
过滤阻力越大；
- 2、污泥颗粒表面的附着水产生水合作用而阻碍颗粒相互结合。
- 3、污泥颗粒一般带负电荷，相互之间表现为排斥，
造成了稳定的分散状态。

污泥调理就是要克服水合作用和电性排斥作用。
增大污泥颗粒的尺寸，使污泥易于过滤或浓缩。

17.3.2 污泥调理的途径

1、脱稳、凝聚

加入合成有机聚合物、无机盐等混凝剂，

使颗粒表面性质改变并凝聚起来。

2、改善污泥颗粒间的结构，减少过滤阻力，

使不堵塞过滤介质（滤布）。

无机沉淀物或一定的填充料可以起这方面的作用。

污泥经调理能增大颗粒的尺寸，中和电性，能使吸附水释放出来，有助于污泥浓缩和改善脱水性能。
在浓缩时污泥颗粒流失减少，可以使固体负荷率提高。

17.3.2 污泥调理的方法

1、化学调理

投加各种混凝剂，使污泥形成颗粒大、孔隙多和结构强的滤饼。

调理剂有三氯化铁、三氯化铝、硫酸铝、聚合铝、聚丙烯酰胺、石灰等。

无机调理剂价廉易得，但渣量大，受PH值的影响大，污泥的燃烧价值降低。

有机调理剂则与之相反。

综合应用2—3种混凝剂，混合投配或依次投配，能提高效能。

如石灰和三氯化铁同时使用，不但能调节PH值，而且由于石灰和污水平重碳酸盐生成的碳酸钙能形成颗粒结构而增加了污泥的孔隙率。调理剂投加量范围很大，因此在特定的情况下，最好是经过试验决定最佳剂量。

17.3.2 污泥调理的方法

2、热调理

热调理的缺点是能耗较高，操作技术水平要求高，有臭气放出，且调理后的污泥在过滤后所得滤液有机物浓度很高。

与湿式氧化不相同，湿式氧化中加入空气使污泥有比较深的氧化程度；热调理则不让污泥中的有机物氧化。

污泥在一定压力（ $1\sim 1.5\text{MPa}$ ）下短时间加热（ $160\sim 200^\circ\text{C}$ ），

使固体凝结，破坏凝胶体结构，降低污泥固体和水的亲合力。

同时污泥也被消毒，臭味几乎被消除，

易于在真空或压力过滤机中过滤。

调节各种混合有机废水污泥，包括难处置的剩余活性污泥，

最适于生物污泥。

17.3.2 污泥调理的方法

3、淘洗

将固体或固-液混合物与液体完全混合，

使某些组分转移到液体中。

能降低碱度，从而降低调理化学药品的投加量，

通常洗涤污泥的费用超过降低调理化学药品所节省的费用，

现在不提倡采用这种方法。

典型的例子是将消化污泥在化学调理以前进行洗涤，
以去除可能消耗大量化学药品的某些可溶性有机和无机组分。

§ 17.4 污泥的脱水与干化工艺

17.4.1 污泥的干化工艺

1、自然干化

采用污泥干化床，主要的干化机理是自然蒸发与渗透。

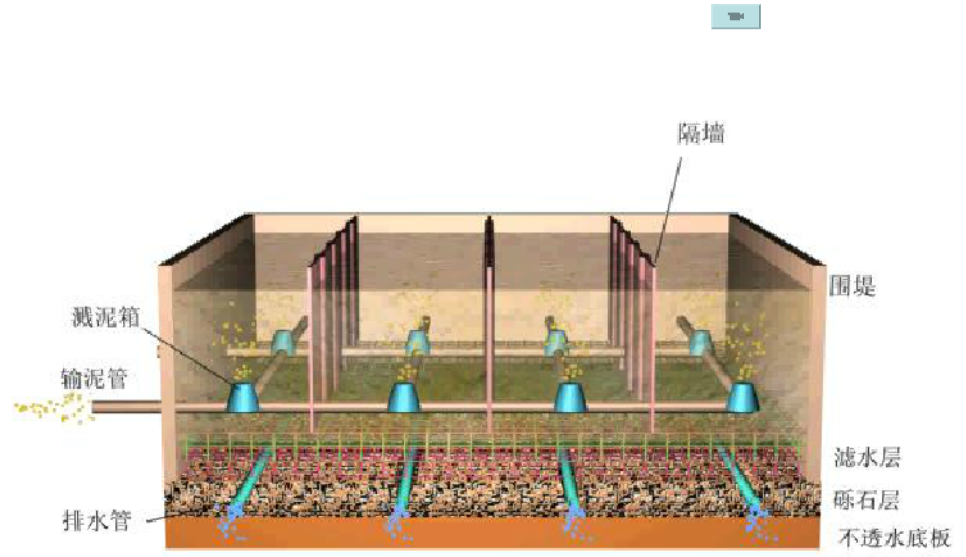
经过自然干化后的出泥含水率可接近**65%**。

自然干化床的面积较大，一般仅适用于中小规模的污水处理厂。

污泥脱水和干化的目的是除去污泥中的大量水分，缩小其体积，减轻其重量；一般经过脱水、干化处理后，污泥含水量能从90%左右下降到60~80%，体积减小到仅为原来的1/10~1/5。

17.4.1 污泥的干化工艺

2、自然干化床构造图



人工滤层干化场

17.4.1 污泥的干化工艺

3、自然干化床设计计算

$$S_1 = W / h$$

式中：

S_1 —干化床的有效面积， m^2 ；

W —每年的总污泥投放量， m^2/a ；

h —在每一年内排放在干化床上的污泥层总厚度， m 。

17.4.2 污泥的脱水

素材过滤原理.swf

1、真空过滤机

见图素材转鼓真空过滤机.swf

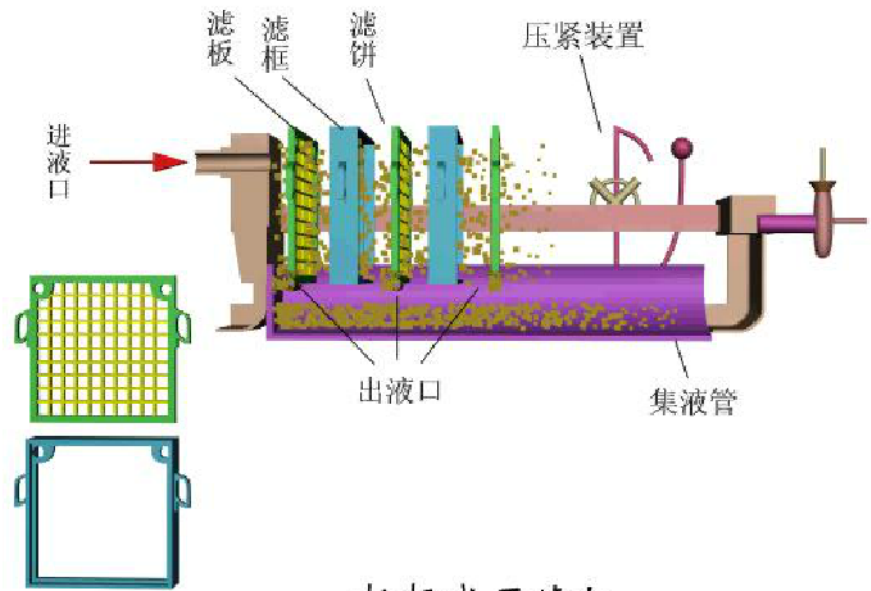
早期使用的连续机械脱水机械。

2、板框压滤机

间歇操作、基建投资大，过滤能力低；

但其滤饼的含固率高、滤液清、药剂用量少。

2、板框压滤机



17.4.2 污泥的脱水

3、带压式压滤机

连续工作、制造容易、操作管理简单、附属设备较少；

但由于投加絮凝剂，使得其运行费用较高。

4、转筒式离心机

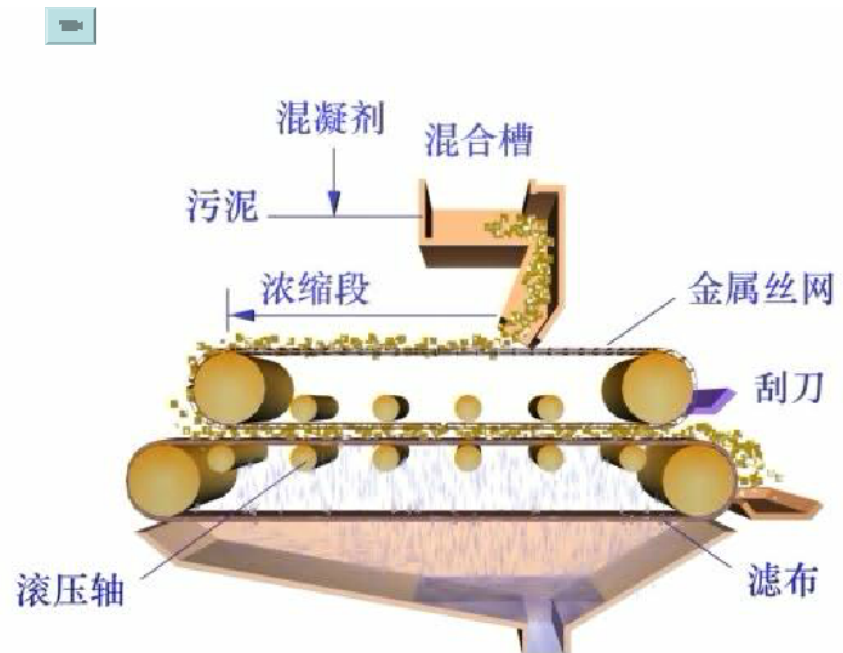
离心力场可达到重力场的1000倍以上；

处理量大，基建和占地少，操作简单，自动化程度高；

可不投入或少投入化学调理剂；

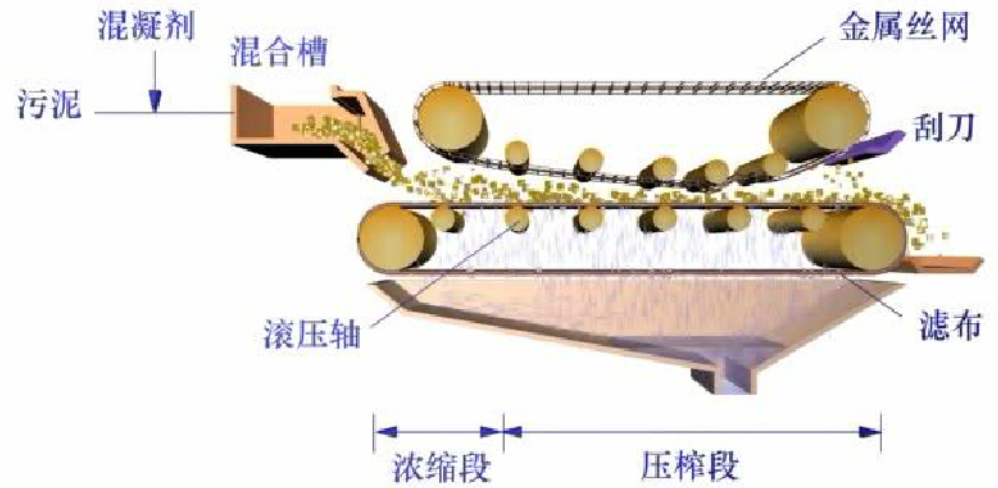
动力费用较高。

3、带压式压滤机



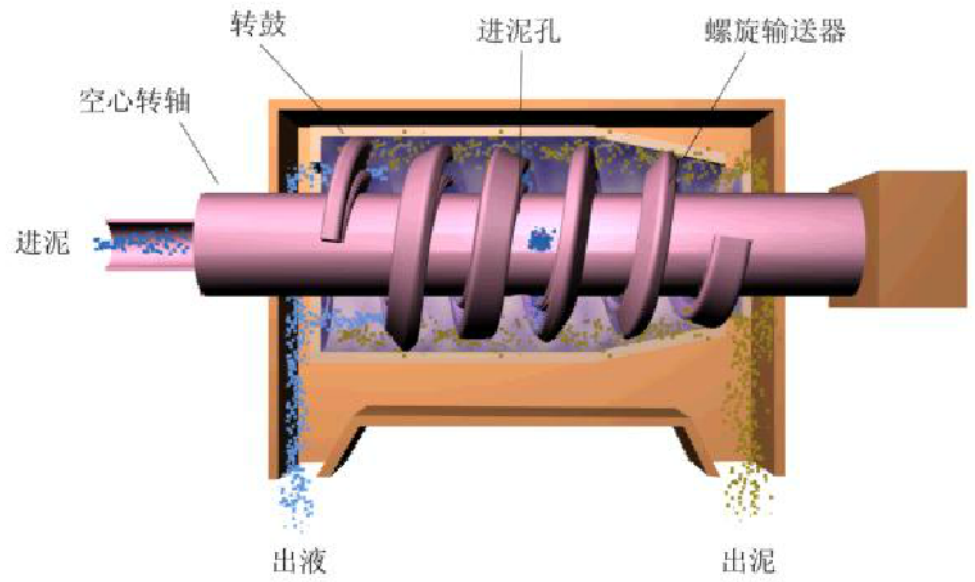
滚压带式脱水机
(对置滚压式)

3、带压式压滤机



滚压带式脱水机
(水平滚压式)

4、转筒式离心机



离心脱水机

§ 17.5 污泥的干燥与焚化

1、污泥的干燥

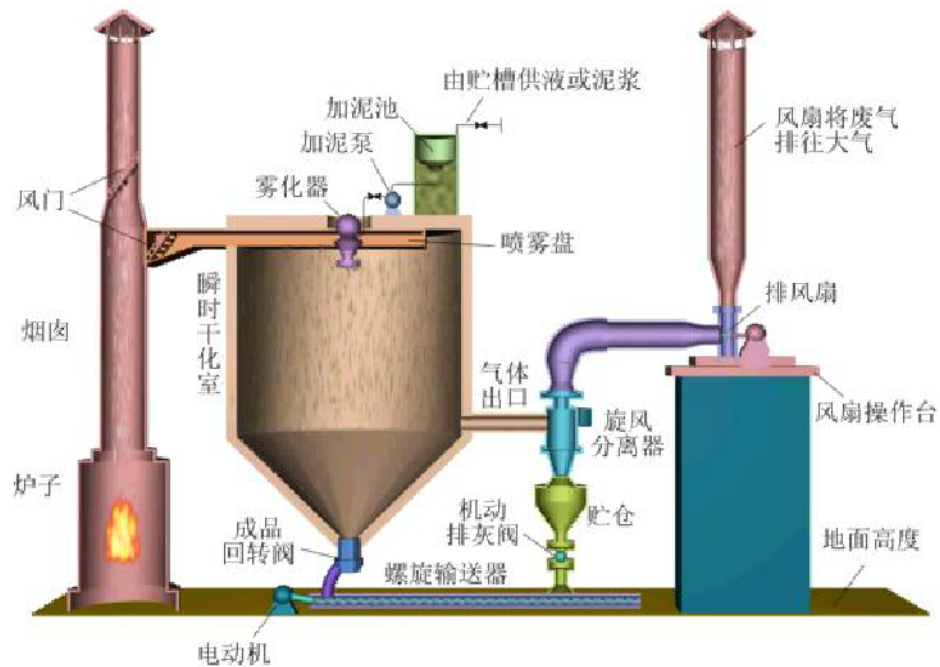
脱水污泥通过干燥后，其中大部分的毛细水、吸附水和内部水得到去除。可以使污泥含水率从60~80%降低至10~30%左右。

2、污泥的焚化

通过焚烧，干燥污泥中的吸附水和内部水以及有机物全部去除，使含水率降至零，污泥变成灰尘。

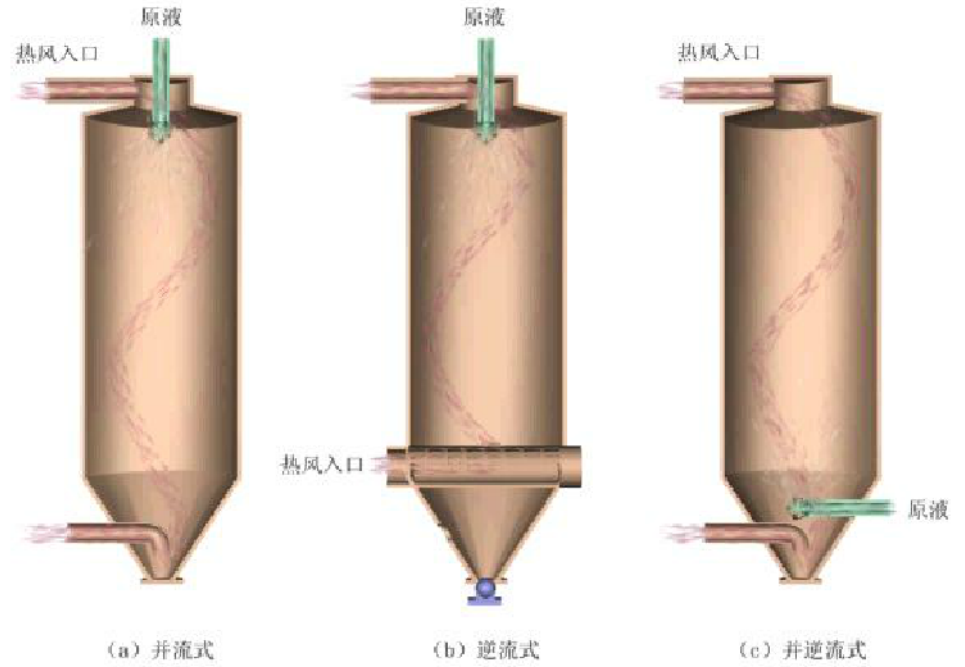
二者是可靠有效的污泥处理方法，但其设备投资和运行费用都很昂贵。

3、污泥的干燥设备



平行流动式喷雾干燥器

3、污泥的干燥设备



三种喷雾干燥器离心转筒形式

3、污泥的焚化设备

(1) 流化床焚烧炉

见图流化床焚烧炉

(2) 逆流回转焚烧炉

见图回转焚烧炉

(3) 立式多段焚烧炉

见图立式多段焚烧炉

习题:

- 1、某城市污水处理厂日处理水量 $Q=150000\text{m}^3/\text{d}$ ，原污水中悬浮物浓度为 265 mg/L ，初次沉淀池效率为 65% ，污泥含水率 $P=95\%$ ，污泥密度为 1000 Kg/m^3 ，试计算初沉池每天产生的污泥体积。
- 2、城市污水处理厂日处理水量 $Q=150000\text{m}^3/\text{d}$ ，曝气池进水 $\text{BOD}_5=250\text{mg/l}$ ，二沉淀池出水 $\text{BOD}_5=30\text{mg/l}$ ，曝气池有效容积 $V=31250\text{m}^3$ ，曝气池中 $\text{MLSS}=4\text{mg/l}$ ， $\text{MLVSS}/\text{MLSS}=0.75$ ，回流污泥含水率为 99% ，剩余活性污泥由二沉池排放。其中有关参数： $a=0.65$ 、 $b=0.05$ ，试计算每日由二沉池排出的剩余污泥体积。



这一章讲完了，休息一下。