

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.16.013

# 通沟污泥处理的提质增效改进工艺设计

陈 功

(同济大学建筑设计研究院<集团>有限公司, 上海 200092)

**摘 要:** 针对常规通沟污泥处理工艺高负荷条件下洗砂效率下降、粒径  $<0.2\text{ mm}$  特细砂分离效率较低以及冲洗水消耗量高的问题,武汉市某通沟污泥处理工程采用两级旋流+砂水分离的改进工艺,将通沟污泥分离成粒径  $10\text{ cm}$  以上的大件物质、 $6\text{ mm} \sim 10\text{ cm}$  的粗大物质、 $0.075 \sim 6\text{ mm}$  的无机砂、 $2 \sim 6\text{ mm}$  的有机渣等,其中  $0.075 \sim 6\text{ mm}$  的无机砂分离效率  $81.2\%$ ,  $0.075 \sim 0.1\text{ mm}$  特细砂分离效率  $73.4\%$ ,回用水利用率达  $73.1\%$ ,为区域性大型通沟污泥处理站的工程设计提供参考,有助于排水系统的提质增效。

**关键词:** 通沟污泥; 砂水分离; 工艺改进

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2021)16-0078-05

## Process Design to Improve Quality and Efficiency of Sewer Sludge Treatment

CHEN Gong

(Tongji Architectural Design <Group> Co. Ltd., Shanghai 200092, China)

**Abstract:** Conventional sewer sludge treatment process has the problems of low sand washing efficiency under high load conditions, lower separation efficiency of ultra-fine sand with a particle size of less than  $0.2\text{ mm}$  and high washing water consumption. An improved process of two-stage cyclone and sand-water separation was employed in a sewer sludge treatment project in Wuhan, in which the sewer sludge was separated into large substances with particle size over  $10\text{ cm}$ , coarse substances with particle size between  $6\text{ mm} - 10\text{ cm}$ , inorganic sand with particle size between  $0.075 - 6\text{ mm}$  and organic residue with particle size between  $2 - 6\text{ mm}$ , among which the separation efficiency of  $0.075 - 6\text{ mm}$  inorganic sand was  $81.2\%$ , the separation efficiency of  $0.075 - 0.1\text{ mm}$  ultra-fine sand was  $73.4\%$ , and the reuse water utilization rate reached  $73.1\%$ . The result can provide a reference for engineering design of regional large-scale sewer sludge treatment station, and help to improve the quality and efficiency of the drainage system.

**Key words:** sewer sludge; sand-water separation; process improvement

通沟污泥就是在排水管道养护中疏通打捞出沉积物,是市政排水系统的副产物<sup>[1]</sup>。通沟污泥对整个城市的排水系统存在不利影响:①影响排水管网的排水通畅,造成堵塞和污水溢流;②容易产生有毒有害气体(如  $\text{H}_2\text{S}$ ),腐蚀管道,导致漏损量增大,危及地下水体;③通沟污泥在雨季被冲入雨水管道和合流制管道的受纳水体,成为河道水体黑臭的主要污染源之一<sup>[2]</sup>;④通沟污泥中粒径  $<0.2\text{ mm}$  的

特细砂极易在中途泵站集水池<sup>[3-4]</sup>、污水处理厂中沉积<sup>[5]</sup>,加剧设备的磨损、池体的淤积,运维费用增加。

上海市于 2013 年启动了浦东新区张江通沟污泥处理处置试点站的建设,成功实现了对通沟污泥的减量化、稳定化、无害化和资源化处理<sup>[4]</sup>。2015 年,《上海市水污染防治行动计划实施方案》在全国范围内首次明确提出建设通沟污泥处理设施的要

求。截至目前,上海市已有十多个已建或在建工程分布全市,走在全国前列,为通沟污泥处理提供了可行的解决方案。通沟污泥处理站并未在全国范围内普及,现状的站点受到用地面积、服务范围、运输距离等影响,规模较小,多以 60 t/d 为主,占地面积不超过 2 000 m<sup>2</sup>,行业内也缺乏对更大规模处理站的定义和研究。本研究暂以现状站点处理规模的 2 倍(即 120 t/d)作为界限,规模 ≤ 120 t/d 的站点暂定为小型站,规模 > 120 t/d 暂定为大型站,确切的定义有待进一步研究后界定。

随着通沟污泥处置问题日益突出,势必会出现区域性大型通沟污泥处理站,但目前缺少相关的设计和工程建设经验。以武汉市某通沟污泥处理工程为例,基于现状通沟污泥处理工程运行情况及设计经验,提出相应的工艺改进方案,为后续大型通沟污泥处理工程的设计与建设提供参考。

## 1 通沟污泥处理的目标

### 1.1 通沟污泥特性

武汉市通沟污泥处理工程一期处理规模 500 t/d(以含水率 80% 计),设置 3 条生产线(2 用 1 备),设计运行时间为每天 24 h,单组设计处理规模 10.5 t/h。该工程位于武昌地区,服务对象以武昌地区(武昌区、洪山区)内排水管网和暗涵的疏浚污泥以及少量排水沟渠的疏浚污泥为主,同时服务于汉阳地区的部分日常维护疏捞污泥。工程对服务范围内的通沟污泥进行了检测分析,结果见表 1。

表 1 武汉通沟污泥检测数据

Tab. 1 Test data of sewer sludge in Wuhan %

项 目	汉阳区	武昌地区
含水率	22.9 ~ 59.4	48.8 ~ 70.6
有机质含量	4.84 ~ 20.8	3.69 ~ 4.05
无机质(灰分)含量	95.16 ~ 79.20	94.26 ~ 96.31
粒径 > 0.2 mm 颗粒物	35.5 ~ 61.0	50.28 ~ 87.75
粒径 < 0.2 mm 颗粒物	39.0 ~ 64.5	12.25 ~ 49.52

从已有的检测数据分析,武汉地区通沟污泥有机质含量低,无机质(灰分)含量高;含水率波动大;粒径 < 0.2 mm 的颗粒物含量较高。

武汉通沟污泥的特点与上海市通沟污泥具有相似性。张强等<sup>[6]</sup>对上海市 14 个区共 39 个通沟污泥样进行了污泥理化指标检测,结果显示上海市通沟污泥中的有机质含量较低,其平均含量约为 17.2%,而无机质(灰分)的含量占到了 82.8%;pH 值为

7.1 ~ 8.5,平均值在 8.0 左右;有 9 个污泥试样的颗粒物粒径完全小于 0.2 mm;有 15 个试样中粒径小于 0.2 mm 的颗粒物占总颗粒物的 50% 以上。

### 1.2 处理目标

首先,由于通沟污泥含水率波动大,一般超过 60%,无法直接运送至填埋场或焚烧厂进行处理。因此,管网养护清掏出来的通沟污泥必须要进行减量化,将含水率降低后才能进一步处置。

其次,通沟污泥中含有大量的无机质,以砂石为主,是一种可利用的低档建材资源。因此,有必要将这部分无机质分离出来,进行资源化利用。

再次,根据排水系统(管网、泵站、污水厂)的实际运行情况,管网、泵站集水池以及污水厂的生化池等构筑物中,经常性地发生淤积。经检测,主要的沉积物来自 0.2 mm 以下的特细砂<sup>[4,7]</sup>。因此,为了减少排水系统(管网、泵站、污水厂)各个单元的沉积,减轻运维压力,需要将这部分特细砂进行分离。

综上,通沟污泥处理的目标是:降低含水率至 60% 以下;将垃圾和无机砂分离,提高资源化利用率;提高粒径 < 0.2 mm 特细砂的分离效率,避免二次淤积。

## 2 通沟污泥常规处理工艺及问题分析

目前,常规通沟污泥处理工艺大都是基于洗砂装置、旋流分离装置的多级分离工艺,能将通沟污泥分为粗大物质(生活垃圾和粗大石块等,粒径 > 10 mm)、细砂(粒径为 0.2 ~ 10 mm)、有机栅渣(2 ~ 10 mm)和特细砂(粒径 < 0.2 mm)<sup>[7]</sup>,工艺流程见图 1。

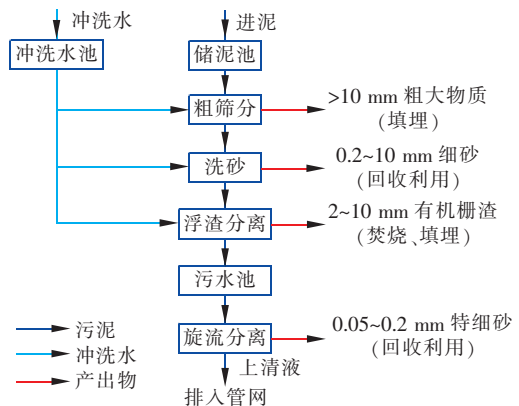


图 1 常规通沟污泥处理工艺流程

Fig. 1 Flow chart of conventional sewer sludge treatment process

根据上海多个站点的运行情况,主要问题有:

① 洗砂装置高负荷运行时细砂分离效率降低

60 t/d 的通沟污泥处理站一般设置 1 条生产线,每条生产线配备 1 套洗砂装置。据了解,上海浦东张江站(60 t/d)在接近满负荷运行情况下,出现洗砂装置效率降低的情况,而其他大部分通沟污泥处理站并未达到满负荷运行,洗砂装置的效率问题暂不明显。

洗砂装置主要是利用附壁效应进行砂水分离,在砂水分离的同时引入冲洗水,能够实现最佳的清洗效果。洗砂装置的选型与进料水力负荷和进料含固量有关,目前洗砂装置最大处理能力为  $35 \text{ m}^3/\text{h}$ ,对应干固体最大处理能力为  $3 \text{ t/h}$ ,而上一级粗筛分阶段,冲洗水量在  $90 \sim 120 \text{ m}^3/\text{h}$ ,使得进入洗砂装置的水力负荷远大于洗砂装置的处理能力,造成粒径  $0.2 \sim 10 \text{ mm}$  细砂分离效率的降低。而武汉市通沟污泥处理站规模大,粗筛分阶段产生泥水量约  $320 \text{ m}^3/\text{h}$ ,若按照常规设计思路进行设计,洗砂的效率问题会更加突出。

## ② 0.2 mm 以下的特细砂分离效率较低

粒径  $<0.2 \text{ mm}$  的特细砂是通沟污泥中最容易沉积的物质,极大提高了排水管网、泵站、污水厂的淤积频率。例如上海浦东张江站在试点建设时,开始并未考虑特细砂的分离,出水直接排入污水泵站集水池,结果在运行过程中,泵站集水池开始频繁淤积,增加了清掏的运维费用<sup>[4]</sup>。因此粒径  $<0.2 \text{ mm}$  特细砂的去除是整个通沟污泥处理工艺的核心,有必要提高特细砂分离效率。

特细砂的分离设备主要是旋流除砂器+砂水分离器的组合。砂水混合物靠泵压力送至旋流除砂器上部沿切线进入,在离心力作用下,比分离界限大的颗粒被压入向下运动的初级旋涡流,碰撞接触分离器内壁,然后向下进入下流液排放喷头,并输送至砂水分离器进行分离;小于分离界限的颗粒则进入向上流动的次级旋涡流,与绝大部分液体一起沿旋流器中轴向上通过上流液口排出<sup>[7]</sup>。

一方面由于进入旋流除砂器的砂水混合物含砂量较低,水力旋流的效率被限制,另一方面,砂水混合物仍含有一定量的有机质,它们吸附在特细砂表面,降低了特细砂密度,使得特细砂随有机质和水流从上流液口溢出。因此,目前工程中只有  $30\% \sim 40\%$  的特细砂能够被分离出<sup>[3]</sup>,而且特细砂未经洗涤,混合了一定量的有机质,影响资源化利用。

## ③ 冲洗水用量大

处理规模 60 t/d 的小型通沟污泥处理站冲洗水需求量约在  $130 \sim 160 \text{ m}^3/\text{h}$ ,主要用于粗筛分设备、洗砂器和浮渣分离设备,其中粗筛分设备需水量最大,约  $90 \sim 120 \text{ m}^3/\text{h}$ ,为节约运行成本,一般采用河水或污水厂尾水作为冲洗水源。武汉市通沟污泥处理站所需冲洗水量约  $8000 \text{ m}^3/\text{d}$  ( $\approx 330 \text{ m}^3/\text{h}$ ),站内冲洗水回用就显得尤为重要。

## 3 通沟污泥处理工艺改进

### 3.1 改进工艺路线

结合现状通沟污泥处理站存在的问题,需要从三个方面对工艺路线进行改进:一是提高砂水混合物的浓度,减少进入洗砂装置的水力负荷;二是减少砂水混合物中有机物的含量,提高特细砂分离效率;三是提高冲洗水的回用率。

武汉市通沟污泥处理工程采用两级旋流+砂水分离的改进工艺,工艺路线如图 2 所示。

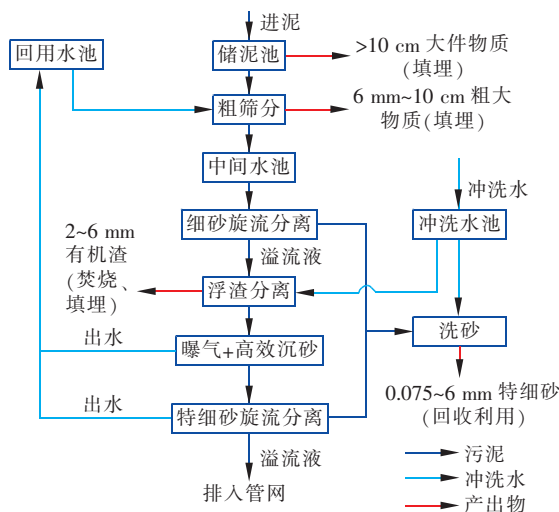


图2 通沟污泥处理改进工艺流程

Fig.2 Flow chart of improved sewer sludge treatment process

主要改进点:①将旋流分离提前至洗砂工艺段之前,主要是利用旋流分离的浓缩富集作用,降低洗砂装置的处理负荷;②在特细砂旋流分离前增加高效沉砂(曝气+斜板),一方面去除进入旋流分离器的油类和有机物,另一方面通过高效沉砂,对特细砂进行富集,提高含砂量;③将富集后的特细砂和细砂混合后再进行洗砂,一是特细砂能够在大量细砂的作用下被吸附积聚,更容易被分离出,二是特细砂也能经历洗砂工序,有机质含量更低,回用价值得到提高;④设置回用水池,曝气+高效沉砂和特细砂旋流



分离单元的出水进入回用水池,作为粗筛分单元的冲洗用水。

### 3.2 改进工艺路线说明

#### ① 进料接收(>10 cm 大件物质分离)

管网、沟渠中清掏出来的污泥通过污泥车倾倒入储泥池中,其中粒径>10 cm 的大件物质通过储泥池上部的进料格栅分离;储泥池中的污泥通过抓斗运送至粗筛分单元。储泥池有效池容按照 48 h 储存时间设计,需考虑上清液的排出;在抓斗选型时,设计应考虑抓斗行程,选择行进速度较大的抓斗,保证小时处理能力。

#### ② 粗筛分(6 mm~10 cm 粗大物质分离)

粗筛分单元利用分离装置和冲洗水的联合作用将通沟污泥内尺寸大于 6 mm 的故障物质、垃圾和石块分离出来,通过皮带输送机输送至储料区,筛下物落入中间水池,中间水池停留时间尽可能短,以避免颗粒物沉积。中间水池泥水混合物通过砂泵提升进入后续的细砂旋流分离单元。单套粗筛分分离装置干固体处理能力 4 t/h,冲洗水量 120 m<sup>3</sup>/h,全部利用站内回用水。

#### ③ 细砂分离

经粗筛分单元处理后的无机砂、有机物和水组成的混合物(粒径≤6 mm),通过砂泵进入细砂旋流分离器(单套处理能力 65 m<sup>3</sup>/h,切割粒径 0.1 mm)进行初步分离。旋流后的上部溢流液排入浮渣分离单元过滤,底部分离液(其中砂的粒径 0.1~6 mm)则进入洗砂器。洗砂器将粒径≤6 mm 的细砂分离出去,并且通过设备自带的洗涤系统对砂子进行洗涤,使得细砂有机烧失含量低于 5%,通过排砂螺杆在静力脱水作用下输送至储料区。这部分细砂可作为低档建筑材料回收利用。

#### ④ 有机渣和特细砂分离

细砂旋流分离器的上部溢流液进入浮渣分离单元,将有机渣(粒径 2~6 mm)分离出来,经压榨后由螺旋输送机输送至储料区。经浮渣分离单元的滤液进入高效沉砂池中,利用斜板沉降污水中粒径>0.075 mm 的砂粒,同时在曝气作用下,将废水中的油类和有机质与砂粒分离,出水排入回用水池。沉降后的细砂通过排砂螺杆输送到砂斗中,通过排砂泵输送到特细砂旋流分离器(单套处理能力 36 m<sup>3</sup>/h,切割粒径 0.075 mm)中进行砂水分离,底部分离液(砂粒径 0.075~0.1 mm)进入洗砂器处理。

单套洗砂器处理能力 35 m<sup>3</sup>/h,对应产干砂能力 3 t/h。特细砂旋流分离器上部溢流液排入回用水池。

#### ⑤ 冲洗水制备

粗筛分单元所需冲洗水量大(单套 120 m<sup>3</sup>/h),但对冲洗水质量要求不高,洗砂器(单套冲洗水量 15 m<sup>3</sup>/h)和浮渣分离设备(单套冲洗水量 12.1 m<sup>3</sup>/h)需水量小,但冲洗压力高、喷头小,为了防止堵塞,对冲洗水质量要求高。因此,粗筛分单元的冲洗水主要选择站内回用水,洗砂装置和浮渣分离单元主要选择临近的污水处理厂尾水(一级 A 标准),市政供水作为应急水源。

工程启动运行时,将污水厂尾水输送至回用水池和冲洗水池作为启动用水,当通沟污泥系统开始工作后,曝气+高效沉砂和特细砂分离器稳定分离出的上清液进入回用水池,粗筛分单元利用这部分上清液作为冲洗水。回用水池和冲洗水池停留时间可按 1~2 h 计,回用水池可根据生产线配置进行分格,并设置冲洗和排砂设施,及时排出沉积的特细砂。污水厂尾水进入冲洗水池前应增加过滤器。

## 4 改进工艺处理效果及能耗

### 4.1 处理效果

武汉市通沟污泥处理工程利用两级旋流+砂水分离改进工艺,能够将来料分成 4 部分:①10 cm 以上的大件物质(石块、垃圾、杂物等)约 3.3 t/d;②6 mm~10 cm 的粗大物质(垃圾、杂物等)24.7 t/d;③0.075~6 mm 的无机砂约 63.1 t/d;④2~6 mm 的有机渣约 32.4 t/d。其中 0.075~6 mm 的无机砂分离效率 81.2%,0.075~0.1 mm 特细砂分离效率 73.4%,可回收利用,其余产物填埋或焚烧。

根据《建设用砂》(GB/T 14684—2011)标准,砂可根据粒径进行分类(见表 2),且不同粒径的砂应用途径不同(见表 3)。本工程设计中,首先将 0.075~6 mm 的无机砂进行分离,并通过二次转运至厂站内的资源化堆场,再根据具体用途进一步筛分后外运用作建材或者回填材料。

表 2 砂粒分类

Tab. 2 Classification of sand

砂粒分类	细度模数	平均粒径/mm
粉砂	—	0.075 以下
特细砂	1.5~0.7	0.25 以下
细砂	2.2~1.6	0.35~0.25
中砂	3.0~2.3	0.5~0.35
粗砂	3.7~3.1	0.5 以上

表3 砂粒主要用途  
Tab.3 Main uses of sand

主要用途	粒径/mm	出处
道路回填材料	$\geq 0.25$	《公路路基设计规范》(JTG D 30—2015)
混凝土	0.16~5, 采用特细砂应符合相应规定	《建设用砂》(GB/T 14684—2011)
管道回填材料	$\geq 0.35$	《给水排水管道工程施工及验收规范》(GB 50268—2008)
建筑回填材料	$\geq 0.35$	《建筑地基基础工程施工质量验收标准》(GB 50202—2018)

#### 4.2 处理能耗

本工程处理设备设施日平均使用功率约为560.35 kW, 日消耗电力约13 449 kW·h, 年消耗电力约 $490.9 \times 10^4$  kW·h, 折合为603.32 t 标煤。改进工艺与常规处理工艺相比, 大大减少了洗砂装置的数量。若采用常规工艺, 本工程洗砂装置的处理量约320 m<sup>3</sup>/h, 需要洗砂装置15套, 采用改进工艺后, 仅需洗砂装置6套, 减少了投资, 且节省电耗684 kW·h/d。

本工程所需冲洗水量约7 877.7 m<sup>3</sup>/d, 站内回用水量5 760 m<sup>3</sup>/d, 回用水利用率达73.1%。利用污水处理厂尾水2 117.7 m<sup>3</sup>/d, 外排水量2 498 m<sup>3</sup>/d。由于回用水利用率提高, 可节约外来冲洗水量5 760 m<sup>3</sup>/d, 减少外排水量5 760 m<sup>3</sup>/d。

#### 5 结语

随着城市排水系统提质增效的推进, 通沟污泥的处理处置问题将越来越受到重视。该工程改进的两级旋流+砂水分离工艺有助于提升粒径<0.2 mm 特细砂的分离效率, 提高冲洗水回用效率, 促进通沟污泥无害化、资源化、减量化, 为区域性大型通沟污泥处理站的工程设计提供参考。

#### 参考文献:

- [1] 缪斌. 上海市浦东新区通沟污泥处理处置工艺设计[J]. 中国给水排水, 2015, 31(8): 57-59.  
MIAO Bin. Process design of sewer sludge treatment and disposal in Pudong new area of Shanghai[J]. China Water & Wastewater, 2015, 31(8): 57-59 (in Chinese).
- [2] 王旭, 王永刚, 孙长虹, 等. 城市黑臭水体形成机理与评价方法研究进展[J]. 应用生态学报, 2016, 27(4): 1331-1340.

WANG Xu, WANG Yonggang, SUN Changhong, et al. Formation mechanism and assessment method for urban black and odorous water body: a review[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2016, 27(4): 1331-1340 (in Chinese).

- [3] 徐晓军, 韦韬, 魏艳平. 通沟污泥处理技术的发展[J]. 环境生态学, 2020, 2(8): 82-88.  
XU Xiaojun, WEI Tao, WEI Yanping. Development of sewer sludge treatment technology[J]. Environmental Ecology, 2020, 2(8): 82-88 (in Chinese).
- [4] 黄慧, 孟飞琴, 朱峥, 等. 通沟污泥处置特细砂沉积问题探讨及对应措施[J]. 中国给水排水, 2019, 35(18): 32-35.  
HUANG Hui, MENG Feiqin, ZHU Zheng, et al. Discussion on deposition of superfine sand in dredging sludge disposal and corresponding measures[J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(18): 32-35 (in Chinese).
- [5] 戴晓虎, 赵玉欣, 沙超, 等. 我国污水处理厂污泥含砂特征及成因调研[J]. 给水排水, 2014, 40(增刊): 75-79.  
DAI Xiaohu, ZHAO Yuxin, SHA Chao, et al. Investigation on the status and causes of sludge sand content of wastewater treatment plants in China[J]. Water & Wastewater Engineering, 2014, 40(S1): 75-79 (in Chinese).
- [6] 张强, 张杰, 庄敏捷, 等. 上海市通沟污泥污染物指标检测和分析[J]. 给水排水, 2018, 44(8): 42-47.  
ZHANG Qiang, ZHANG Jie, ZHUANG Minjie, et al. Pollutant indicators detection and data analysis of sewage sludge in Shanghai City[J]. Water & Wastewater Engineering, 2018, 44(8): 42-47 (in Chinese).
- [7] 阎铁婧. 通沟污泥多级分离处理工艺改进及工程设计[J]. 中国给水排水, 2018, 34(16): 45-49.  
YAN Yijing. Improvement and design of multistage separation treatment for sewer sludge[J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(16): 45-49 (in Chinese).

作者简介: 陈功(1988-), 男, 江苏无锡人, 硕士, 工程师, 研究方向为水环境综合治理、污泥处理处置等。

E-mail: 953423368@qq.com

收稿日期: 2020-10-08

修回日期: 2020-11-13

(编辑: 孔红春)