

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.24.013

# 太原市城市污水厂污泥资源化利用工程设计

程文, 蒋岚岚, 耿震, 周斌

(无锡市政设计研究院有限公司, 江苏 无锡 214072)

**摘要:** 太原市城市污水厂污泥集中处理工程项目,主要处理主城区污水厂含水率为80%的脱水污泥,设计规模近期500 t/d,远期700 t/d。分析了不同批次污泥的泥质,针对污泥碱性条件下易水解破壁、氮磷等营养元素含量较高的基本特点,创新地采用“碱性热水解+板框脱水+MVR蒸发+肥料化产品”组合处理工艺,不仅实现了污泥的减量化、无害化,同时还生产了固体肥和液体肥两种满足不同市场需求的资源化产品,彻底解决了污泥的最终出路问题。

**关键词:** 市政污泥; 碱性热水解; 资源化利用

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2022)24-0072-04

## Engineering Design of Sludge Resource Utilization in Taiyuan Municipal Wastewater Treatment Plant

CHENG Wen, JIANG Lan-lan, GENG Zhen, ZHOU Bin

(Wuxi Municipal Design Institute Co. Ltd., Wuxi 214072, China)

**Abstract:** The sludge centralized treatment project of municipal wastewater treatment plants in Taiyuan mainly treats dewatered sludge with water content of 80% from wastewater treatment plants in the main urban area. The short-term design scale is 500 t/d, and the long-term design scale is 700 t/d. The characteristics of sludge from different batches were analyzed. According to the basic characteristics of the sludge, such as easy hydrolysis and wall breaking under alkaline condition, high content of nitrogen and phosphorus, a combined treatment process consisting of alkaline thermal hydrolysis, plate and frame dewatering, MVR and fertilizer production was innovatively proposed. The process realized reduction and hazard-free treatment of the sludge, produced two kinds of products (solid fertilizer and liquid fertilizer) which met different market demands, and completely solved the final disposal problem of the sludge.

**Key words:** municipal sludge; alkaline thermal hydrolysis; resource utilization

### 1 项目概况

太原循环经济产业园污泥厂处理工程项目,位于太原市循环经济环卫产业示范基地内,着力解决太原市市政污泥处理处置的出路问题,同时实现资源化利用。工程主要处理太原主城区4座污水处理厂含水率80%的脱水污泥,工程分两期建设,近期规模500 t/d,远期规模700 t/d。土建及配套设施按照远期规模一次性建设到位,污泥处理设备按照500 t/d规模配置,预留远期机位。项目占地面积约

28 900 m<sup>2</sup>,用地紧凑。通过对多种污泥处理、处置工艺方案的经济性、可靠性、资源化利用潜力等进行综合比选,最终选择了“碱性热水解+污泥板框脱水+MVR蒸发+肥料化产品”的组合工艺。该组合技术是在国内大型污泥处理、处置项目中的首次成功运用,也是对我国“美丽中国”建设下的环保及污染防治需求<sup>[1-2]</sup>的有力响应。

### 2 污泥泥质

工程主要处理太原市杨家堡、北郊、城南、晋阳

等4座城市污水处理厂产生的脱水污泥,其泥质 见表1。

表1 污泥泥质检测结果

Tab.1 Test results of sludge quality

项目	总磷/ ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	总氮/ ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	酚/ ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	氰化物/ ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	总铜/ ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	总铬/ ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	总钾/ ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	总镉/ ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	总铅/ ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	总锌/ ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	有机物/%
数值	6 890~ 12 400	9 530~ 21 500	31.2~ 115	0.75~1.32	116~264	68.9~352	8 560~ 15 800	<0.05	<0.2	279~680	47.9~ 52.1

### 3 总体工艺设计

#### 3.1 主要工艺流程

污泥资源化利用工程由污泥接收储存系统、碱性热水解系统、固液分离系统、MVR蒸发系统以及肥料化系统等五个部分及辅助配套设施组成。各系统自成体系,同时又紧密联系,工艺流程见图1。

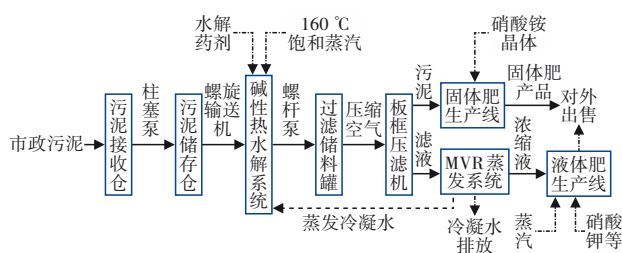


图1 生产工艺流程

Fig.1 Flow chart of production process

污泥接收储存系统:将服务范围内污水处理厂产生的脱水污泥(含水率80%)运输至项目所在地,经计量称重后卸入污泥接收仓,然后通过柱塞泵将污泥分配至有效容积为300 m<sup>3</sup>的污泥储存仓。

碱性热水解系统:储存仓中的污泥通过倾斜螺旋输送机输送至碱性热水解系统的配料釜中,在配料釜内污泥与水解药剂、MVR回流冷凝水进行充分混合(配料釜内设置有变频搅拌装置),含水率从80%提高至88%~90%,同时向配料釜内通入160 °C饱和蒸汽将污泥预热至80 °C;预热调配好的污泥通过螺杆泵输送至水解反应釜,继续通入160 °C的饱和蒸汽将预热污泥升温至110~120 °C,并在该温度下保持80~100 min,完成污泥的水解反应过程;污泥在自身压力的作用下排出反应釜,进入闪蒸罐,采用两级闪蒸工艺,使污泥中的热量以水蒸气的形式得到回收,降低能耗,闪蒸时间25~40 min,经过水解闪蒸后的污泥完成水解破壁,大分子有机物发生水解,脂肪逐步水解成甘油和脂肪酸,碳水化合物水解成小分子的多糖甚至单糖,蛋白质水解成多肽、二肽及氨基酸。碱性热水解系统流程见图2。

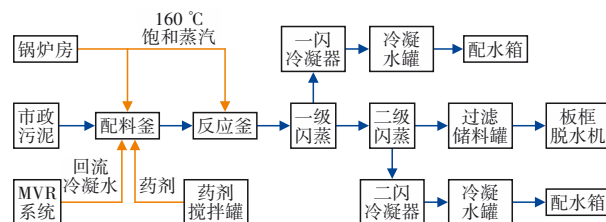


图2 碱性热水解系统流程

Fig.2 Flow chart of alkaline thermal hydrolysis system

固液分离系统:完成破壁后的污泥通过螺杆泵将物料输送至过滤储料罐内,进入固液分离阶段,物料通过压缩空气输送至板框压滤机进行压榨脱水,脱水后的泥饼含水率为40%~50%,固液分离后的渣相可以用来生产固体肥或绿化土,滤液进入MVR系统进行蒸发浓缩,产生蛋白浓缩液,是后续工艺生产液体肥的原料。

MVR蒸发浓缩系统:MVR作为一种热分离技术,主要用于浓缩或分离液体溶液,原理主要是通过机械压缩或热压缩提高排出的二次蒸汽热焓后,再将其作为干燥热源或干燥介质循环使用<sup>[3]</sup>,同等条件下,该技术节能环保、运行成本低<sup>[4]</sup>,蒸发效率高。固液分离后的物料输送进入蒸发器的加热室内,通过蒸发过程本身产生的二次蒸汽作为加热室热源,使物料维持蒸发状态,而加热蒸汽本身将热量传递给物料后冷凝成水。蒸发产生的二次蒸汽冷凝水部分储存于蒸发冷凝水箱中,部分回用至调配预热系统以回收工艺水及余热,其余排放。滤液经过MVR蒸发系统可以去除绝大部分的水分,将干物质含量约3%的滤液浓缩至50%以上,浓缩蛋白液用于制作液体肥。

#### 3.2 总平面及车间平面布置

项目呈较规则的长方形布置,长×宽=256.0 m×113.5 m,为了节约、集约利用土地资源,大部分工艺段组合设置于一体化综合车间内,部分不宜设置于室内的设施(如MVR蒸发系统、药剂投加系统、冷却塔和雨/污水池等)设置于一体化综合车间外。各

子系统主要集成设置于综合车间内,平面尺寸为 197.15 m×69.25 m,占地面积约 1.37 hm<sup>2</sup>,为单层(局部二层)生产性厂房,车间主体采用框架结构,固体肥车间采用钢结构。车间内主要功能间包括污泥接收储存间、污泥水解间、污泥脱水车间、液体肥车间、固体肥车间等;辅助功能间包括变电所、机修间、中央控制室、空压机房、锅炉房等。各单体之间相互协同,工艺流程顺畅,可最大限度利用空间资源。项目总平面布置见图 3。

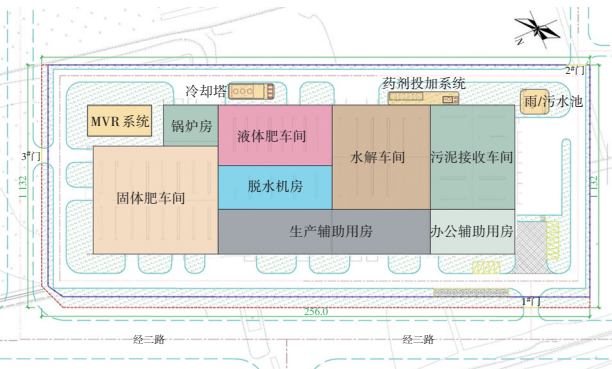


图 3 厂区总平面布置及功能分区

Fig.3 General layout of the plant and functional partition

3.3 污泥接收储存系统

污泥接收储存间主要功能是接收来自于太原市主城区 4 座大型污水处理厂的脱水污泥(以含水率 80% 计)。车间平面尺寸为 41.0 m×48.6 m,设置有 4 套污泥卸料及储存系统,近期安装 3 套,预留 1 套远期位置。每套系统包括:污泥接收仓 1 座,有效容积 50 m<sup>3</sup>;双螺旋喂料机 1 台,  $Q=20\text{ m}^3/\text{h}$ ,  $N=7.5\text{ kW}$ ;柱塞泵 1 台,  $Q=20\text{ m}^3/\text{h}$ ,  $H=4.0\text{ MPa}$ ,  $N=7.5\text{ kW}$ ;污泥储存仓 1 套,有效容积 300 m<sup>3</sup>;水平无轴螺旋输送机 1 台,  $Q=40\text{ m}^3/\text{h}$ ,  $N=11.0\text{ kW}$ ;倾斜无轴螺旋输送机 1 台,  $Q=40\text{ m}^3/\text{h}$ ,  $N=18.0\text{ kW}$ 。

3.4 碱性热水解系统

污泥碱性热水解是项目的核心处理工艺,在碱性条件下,通过加热方式对污泥进行预处理,从而改变污泥的物理、化学及生物学特性,使得污泥絮体和细胞结构更易破裂、氮磷等营养元素不断释放,经过热水解后污泥中的溶解性物质浓度大大提高。车间平面尺寸为 46.0 m×48.6 m。碱性热水解按照近期 500 t/d 规模配置 3 条水解生产线,预留远期 1 条位置。每条水解线包含:配料釜 2 套;配料釜出料泵 2 台;反应釜 4 套;一级闪蒸罐 1 套;二级闪蒸

罐 1 套;冷凝器、冷凝水罐、平衡罐等设备。碱性热水解系统主要技术参数见表 2。

表 2 碱性热水解系统主要技术参数

Tab.2 Main technical parameters of alkaline thermal hydrolysis system

项目	主要参数	数量	设计压力/MPa	反应温度/℃	反应时间/min
配料釜	$V=24\text{ m}^3$ , $\varnothing 2\,400\text{ mm}\times 4\,500\text{ mm}(H)$	6 套	0.1	80	60
配料釜蒸汽平衡罐	$V=1.0\text{ m}^3$ , $\varnothing 800\text{ mm}\times 1\,700\text{ mm}(H)$	6 套	1.0	80	
配料釜出料泵	$Q=30\text{ m}^3/\text{h}$ , $H=400\text{ kPa}$	6 台			
反应釜	$Q=20\text{ m}^3/\text{h}$ , $\varnothing 2\,200\text{ mm}\times 4\,500\text{ mm}(H)$	12 套	0.5	110~120	80~100
配料釜蒸汽平衡罐	$V=1.0\text{ m}^3$ , $\varnothing 800\text{ mm}\times 1\,700\text{ mm}(H)$	6 套	1.0	110~120	
一级闪蒸罐	$Q=15\text{ m}^3/\text{h}$ , $\varnothing 2\,000\text{ mm}\times 4\,000\text{ mm}(H)$	3 套	常压	90~100	25~40
二级闪蒸罐	$Q=15\text{ m}^3/\text{h}$ , $\varnothing 2\,000\text{ mm}\times 4\,000\text{ mm}(H)$	3 套	-0.1	70~75	25~40
一闪冷凝器	换热面积 90 m <sup>2</sup>	3 台	0.05		
二闪冷凝器	换热面积 90 m <sup>2</sup>	3 台	-0.1		
闪蒸出料泵	$Q=50\text{ m}^3/\text{h}$ , $H=400\text{ kPa}$	3 台			
过滤储料罐	$V=40\text{ m}^3$ , $\varnothing 3\,000\text{ mm}\times 5\,000\text{ mm}(H)$	12 套	常压	<70	

3.5 固液分离系统

固液分离车间按远期 700 t/d(含水率 80%)规模配置 8 台板框脱水机机位,近期安装 6 台(5 用 1 备)。单台过滤面积 600 m<sup>2</sup>,处理规模 100 t/d(含水率 80%)。固液分离系统主要设备见表 3。

表 3 固液分离系统主要设备

Tab.3 Main equipment of sludge dewatering system

项目	主要参数	数量/台	备注
板框压滤机	过滤面积 600 m <sup>2</sup> , $N=15.0\text{ kW}$	6	5 用 1 备
隔膜压榨泵	$Q=20\text{ m}^3/\text{h}$ , $H=1.66\text{ MPa}$ , $N=15.0\text{ kW}$	6	5 用 1 备 (变频控制)
清洗水泵	$Q=250\text{ L/min}$ , $H=5\text{ MPa}$ , $N=30.0\text{ kW}$	2	1 用 1 备
压榨水箱	$V=20\text{ m}^3$	1	
清洗水箱	$V=12\text{ m}^3$	1	

3.6 MVR 蒸发系统

MVR 蒸发系统设备及平台总高度 20.0 m;设置



3套MVR系统(预留1套的安装空间),基本参数:进料干物质含量3%,出料干物质含量50%,进料温度50℃,出料温度101℃,最大蒸发量12.5 t/h,冷却水用量8~10 m<sup>3</sup>/h。MVR蒸发系统包括一效蒸发器、二效蒸发器、一效分离器、预热器、表面冷凝器、冷凝水罐及氨吸收塔,总装机负荷约350 kW。

### 3.7 肥料化生产系统

经MVR蒸发后得到含固率≥50%的蛋白浓缩液,在液体肥生产车间内加入硝酸钾和黄腐酸钾等营养元素作为辅料,经过配料、灌装后形成液体肥产品进行市场销售;经板框压滤机脱水后40%~50%含水率的脱水污泥中仍然含有大量的有机蛋白,在固体肥车间内脱水污泥(含水率40%~50%)经破碎后与MVR脱氨系统产生的硫酸铵晶体进行混合搅拌,包装成固体肥进行市场销售。

市政污泥经碱性热水解释放胞内的蛋白质等营养物质后,辅以污泥板框脱水、MVR蒸发系统和液体肥、固体肥生产线,生产出可销售的肥料,实现了污泥减量化、无害化和资源化利用。

## 4 工程运行效果

该项目从2019年11月正式投入生产运行,2020年4月达到了设计产能,至今运行良好,厂区异味控制效果较好,生产废水达标排放,所生产的液体肥有机蛋白含量较高,销量较好,固体肥还需要得到市场进一步认可。在生产过程中,通过对碱性热水解搅拌装置、石灰投加系统、滤布清洗方式等的改进和优化,整个污泥资源化项目取得了良好的效果。

## 5 工程投资及运行成本分析

整个污泥资源化利用工程分为2期,一期处理规模500 t/d(以含水率80%计),总投资约2.9亿元。项目从2019年11月正式投产,经过2年的生产运营,直接运行成本见表4。

表4 直接运行成本

Tab.4 Direct operating cost 元·t<sup>-1</sup>

项 目	外购原料费 (水、电)	生产药 剂费	产品灌装 及包装费	人工 工资	维修 费	合计
主要成本	81.72	31.22	18.29	22.62	25.11	178.96

## 6 结语

太原循环经济产业园污泥处理工程既是污泥

处理、处置项目,同时又是很好的资源化利用项目,采用了“碱性热水解+板框脱水+MVR蒸发”的污泥处理工艺,将污泥“变废为宝”,生产了两种不同类型的资源化产品(液体肥+固体肥),取得了较好的经济效益。

### 参考文献:

- [1] 戴晓虎,张辰,章林伟,等. 碳中和背景下污泥处理处置与资源化发展方向思考[J]. 给水排水, 2021, 47(3):1-5.  
DAI Xiaohu, ZHANG Chen, ZHANG Linwei, et al. Thoughts on the development direction of sludge treatment and resource recovery under the back ground of carbon neutrality [J]. Water & Wastewater Engineering, 2021, 47(3):1-5(in Chinese).
- [2] 薛重华,孔祥娟,王胜,等. 我国城镇污泥处理处置产业化现状、发展及激励政策需求[J]. 净水技术, 2018, 37(12): 33-39.  
XUE Chonghua, KONG Xiangjuan, WANG Sheng, et al. Industrialization status, development analysis and incentive policy demands of municipal sludge treatment and disposal industry in China [J]. Water Purification Technology, 2018, 37(12): 33-39(in Chinese).
- [3] 傅伟良,张城镇,陈蒙,等. 机械蒸汽再压缩(MVR)热泵干燥的研究进展[J]. 环境工程, 2021, 39(5): 131-134.  
FU Weiliang, ZHANG Chengzhen, CHEN Meng, et al. Research progress on mechanical vapor recompression heat pump drying [J]. Environmental Engineering, 2021, 39(5):131-134(in Chinese).
- [4] 张军,宋萌萌,高兴,等. 以MVR为核心的含盐废水处理工艺设计[J]. 中国给水排水, 2020, 36(24): 109-114.  
ZHANG Jun, SONG Mengmeng, GAO Xing, et al. Design of saline wastewater treatment process with MVR as core treatment unit [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(24):109-114(in Chinese).

作者简介:程文(1983-),男,江苏盐城人,硕士,高级工程师,研究方向为水处理及固体废弃物处置。

E-mail:chengwen1179@163.com

收稿日期:2021-12-14

修回日期:2022-02-14

(编辑:孔红春)