

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.14.005

## 污泥处理中心典型废水水质分析

宋晓雅<sup>1,2</sup>

(1. 北京城市排水集团有限责任公司, 北京 100044; 2. 北京北排水环境发展有限公司, 北京 100044)

**摘 要:** 随着热水解厌氧消化污泥处理中心的陆续建设和投产运行,在实践中多聚焦于污泥热水解预处理效果评估和厌氧消化脱水滤液处理,而对于污泥处理中心的其他种类的废水排放关注较少。全面分析了北京高安屯污泥处理中心项目典型废水的水质情况,重点进行了可生化性、碳源分析,并进行典型废水集中处理的可行性探讨。针对运行现状,提出相关建议,希望在今后类似项目的设计与建设中,能充分考虑这些典型废水的水质特性,合理选择处理工艺。

**关键词:** 污泥处理中心; 典型废水; 水质

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2021)14-0032-05

## Analysis of Typical Wastewater Quality of Sludge Treatment Center

SONG Xiao-ya<sup>1,2</sup>

(1. *Beijing Drainage Group Ltd., Beijing 100044, China*; 2. *Beijing North Drainage Environment Development Co. Ltd., Beijing 100044, China*)

**Abstract:** With the continuous construction and operation of thermal hydrolysis anaerobic digestion sludge treatment centers, the focus was on the evaluation of the thermal hydrolysis pretreatment effect of sludge and the treatment of dehydration filtrate after anaerobic digestion in application. However, other types of wastewater discharge from the sludge treatment center have received less attention. We comprehensively analyzed the water quality of typical wastewater from the Beijing Gao'antun sludge treatment center project, focusing on biodegradability and carbon source analysis, and discussed the feasibility of centralized treatment of typical wastewater; as well as proposed relevant recommendations for the current status of operation. It is expected that the water quality characteristics of these typical wastewater can be fully considered, and the treatment process can be reasonably selected for the design and construction of subsequent similar projects.

**Key words:** sludge treatment center; typical wastewater; water quality

北京高安屯污泥处理中心项目(以下简称高安屯项目)自 2017 年 9 月启动运行,污泥处理工艺为典型的热水解+厌氧消化+板框脱水;沼气净化采用砾石过滤(用以除杂除水)+干式氧化铁脱硫;现阶段沼气利用是提供蒸汽锅炉用的燃气。

在高安屯项目中,按照废水来源,主要有八部分废水:①污泥预脱水产生的滤液;②热水解系统工艺气的冷却水;③板框脱水后的滤液;④蒸汽管线的冷

凝水;⑤沼气管线及其附属设施(砾石过滤器、冷凝水收集器、各类冷凝水排放口等)排放的冷凝水;⑥干式脱硫装置排放的冷凝水;⑦锅炉系统排放的废水(包括锅炉表面排污、底部排污废水以及锅炉软化反冲洗废水);⑧各类清洗杂用水等。按照水质变化情况,则主要分为两类:一类是水质仅物理性质有变化的,如热水解工艺气冷却水和蒸汽管线冷凝水;另一类是水质有明显改变的,尤其是化学性质变

化较大的,如污泥预脱水产生的滤液、板框滤液、沼气管线排放的冷凝水、干式脱硫装置排放的冷凝水、锅炉系统排放的废水和清洗杂用水。在第二类废水中,对于污泥预脱水(如浓缩池上清液、带式脱水滤液)和锅炉系统排放的污水研究论述的较多;清洗杂用水主要用于生产区域清洁卫生,与一般生活污水差异不明显。故以污泥处理中心比较典型的废水——板框脱水滤液、沼气管线排放的冷凝水和干式脱硫装置排放的冷凝水为研究对象,分析废水水质特性,为水处理工艺的选择提供参考。

## 1 研究内容

试验水样为瞬时样,取样时间为2019年4月—5月,取样地点为高安屯项目板框脱水机房、废气燃烧器前的沼气管线冷凝水排放口和干式脱硫装置冷凝水排放口,具体取样位置如图1所示。主要水质分析项目为pH值、总碱度、SS、TCOD、SCOD、BOD<sub>5</sub>、TN、氨氮、TP,总计9项指标。

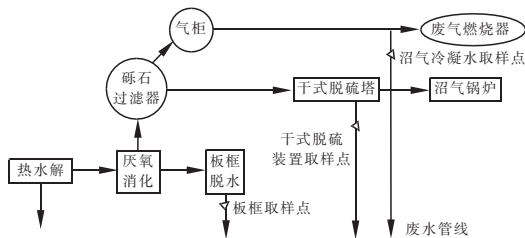


图1 处理工艺与现场取样点

Fig.1 Treatment process and on-site sampling points

## 2 水质分析

### 2.1 酸碱性

选取pH值和总碱度两项指标,分析废水的酸碱性。结果表明,板框滤液pH值为6.19~7.20,沼气管线冷凝水pH值为7.83~8.39,干式脱硫装置冷凝水pH值为5.62~6.93。板框滤液总碱度为302~1 620 mg/L,平均为924 mg/L;沼气冷凝水总碱度为10 000~14 800 mg/L,平均11 500 mg/L;干式脱硫装置冷凝水总碱度为74.9~570 mg/L,平均279 mg/L。三类水质对比明显,板框滤液呈中性,沼气管线冷凝水呈弱碱性,干式脱硫装置冷凝水呈弱酸性。

分析差异性的原因,板框滤液水质与调理剂种类、污水处理工艺和污泥稳定化工艺有关,不同的调理剂会导致脱水滤液呈现不同的pH值。沼气管线冷凝水的水质,与沼气的成分和沼气净化工艺有关。

高安屯项目沼气净化工艺是沼气先经砾石过滤器去除杂质,再经过管道上的冷凝水收集器进行除水,故在废气燃烧器前沼气管路上冷凝水排放口所取水样,不仅包含沼气中凝结下来的水分,还包含沼气中部分溶解性气体的凝结物,这些均会影响冷凝水pH值。干式脱硫塔冷凝水呈弱酸性,与干式脱硫装置脱硫剂主要成分为氧化铁有关,脱硫反应中形成的冷凝水和沼气冷凝水混合呈现弱酸性。

### 2.2 SS含量

废水中SS含量见表1。可知,板框滤液中SS平均为259 mg/L,沼气管线冷凝水中SS平均为22 mg/L,干式脱硫装置冷凝水中SS平均为799 mg/L。从试验期间的水质波动看,沼气管线冷凝水中SS含量较稳定,在35 mg/L以下,表明该沼气净化工艺采用砾石过滤器作为沼气除杂装置运行效果较好。干式脱硫装置冷凝水中SS含量波动较大,估计与干式脱硫装置的冷凝水排放方式有关。现状是采用人工操作间歇排放,排放频次、排放时间不同均有可能影响到水质。板框滤液中SS含量也存在波动,可能与板框滤布清洗频次、取样时段有关。

表1 废水中SS含量

Tab.1 SS content of wastewater mg · L<sup>-1</sup>

日期	板框滤液	沼气管线 冷凝水	干式脱硫装置 冷凝水
2019-04-24	304	16	366
2019-04-25	180	13	32
2019-04-26	248	<5	560
2019-05-05	136	18	368
2019-05-06	334	34	420
2019-05-07	168	10	648
2019-05-08	664	30	650
2019-05-10	154	18	272
2019-05-13	184	17	1 600
2019-05-14	394	15	928
2019-05-15	224	39	1 130
2019-05-16	168	30	1 740
2019-05-17	210	24	1 670

### 2.3 有机污染物含量

#### ① TCOD和SCOD

检测分析结果表明,板框滤液TCOD为1 940~3 590 mg/L,平均为2 811 mg/L;沼气管线冷凝水TCOD为62~5 000 mg/L,剔除5月9日异常数据,平均为145 mg/L;干式脱硫装置冷凝水TCOD为154~886 mg/L,平均为429 mg/L。

进一步查看 SCOD 与 TCOD 的比值,板框滤液 SCOD 与 TCOD 的比值平均为 0.826 8,沼气管线冷凝水 SCOD 与 TCOD 的比值平均为 0.650 9,干式脱硫装置冷凝水 SCOD 与 TCOD 的比值平均为 0.722 3。

### ② BOD<sub>5</sub>

检测结果表明,板框滤液 BOD<sub>5</sub> 为 896 ~ 1 800 mg/L,平均为 1 279 mg/L;沼气管线冷凝水 BOD<sub>5</sub> 为 30.5 ~ 2 250 mg/L,剔除 5 月 15 日异常数据,平均为 70 mg/L;干式脱硫装置冷凝水中 BOD<sub>5</sub> 为 93.7 ~ 432 mg/L,平均为 203 mg/L。

三种废水中,板框滤液 BOD<sub>5</sub> 含量较高,这是因为板框处理的是厌氧消化污泥,污泥中的部分有机物转移到滤液中;而沼气管线冷凝水和干式脱硫装置冷凝水 BOD<sub>5</sub> 含量较低,可能与沼气中大部分是不溶性有机物和不凝气体有关。

### ③ 总氮和氨氮

板框滤液总氮为 2 600 ~ 5 740 mg/L,平均为 3 346 mg/L;沼气管线冷凝水总氮为 2 600 ~ 5 740 mg/L,平均为 3 463 mg/L;干式脱硫装置冷凝水中总氮为 1 010 ~ 6 000 mg/L,平均为 2 494 mg/L。进一步分析总氮中的氨氮含量,板框滤液氨氮平均为 2 790 mg/L,沼气冷凝水中氨氮平均为 2 988 mg/L,干式脱硫装置冷凝水氨氮平均为 2 029 mg/L。

从废水中总氮和氨氮含量分析,高安屯项目中的板框滤液、沼气管线冷凝水和干式脱硫装置冷凝水均为总氮含量和氨氮含量较高的废水。

### ④ 总磷

板框滤液总磷为 0.303 ~ 7.36 mg/L,平均为 1.71 mg/L。沼气管线冷凝水总磷为 0.198 ~ 13.1 mg/L,剔除 5 月 9 日异常数据后,平均为 0.56 mg/L。干式脱硫装置冷凝水总磷为 0.052 ~ 1.4 mg/L,平均为 0.57 mg/L。从总磷的数值分布看,三种废水的总磷含量均偏低。

分析这三种废水中总磷含量较低的原因,一方

面可能与高安屯项目进泥泥质有关,系统进泥总磷含量较低;另一方面可能与消化池进泥中投加铁盐进行原位脱硫有关,投加铁盐降低了污泥中溶解性磷的含量。

## 3 水量分析

三种废水中,由于板框脱水后污泥的含水率<sup>[1-2]</sup>可低至 60%,故板框滤液的水量较多;其次是沼气管线冷凝水,最少的是干式脱硫装置冷凝水。这主要是由于高安屯项目的沼气是先通过砾石过滤器除杂除水后才输送到干式脱硫塔,因此,沼气管线的冷凝水量要多于干式脱硫装置的冷凝水量。

从水量计量看,板框滤液的水量可通过板框处理泥量和脱水泥饼含水率来计算排放量;而沼气管线冷凝水和干式脱硫塔冷凝水一般为间断抽升或间歇排放,故实际排放量不易计量,可通过容器估算排放量。

## 4 废水处理讨论

### 4.1 现状

高安屯项目现况板框滤液是集中收集到调节池经厌氧氨氧化<sup>[3-4]</sup>工艺处理后排放到高安屯再生水厂进水泵前池。现况沼气管线冷凝水,通过砾石过滤器、沼气冷凝水罐和废气燃烧器进气管后进行排放;此部分污水未进行单独的收集或处理,各自通过泥区污水管道排放到高安屯再生水厂泵前池。现况脱硫系统采用在消化进泥中投加 FeCl<sub>3</sub> 和干式脱硫塔方式进行沼气脱硫<sup>[5]</sup>,在实际生产中由操作人员每日实施人工操作冷凝水排放。此部分冷凝水也未单独收集或处理,同样通过泥区污水管道排放到高安屯再生水厂泵前池。

### 4.2 废水水质特点

#### ① 板框滤液

高安屯项目与传统厌氧消化项目相比,增加了热水解处理环节,因此板框滤液与常规厌氧消化脱水后滤液<sup>[6-7]</sup>相比,水质呈高总氮、高氨氮、高 COD 的特点,如表 2 所示。

表 2 脱水滤液水质比较

Tab. 2 Comparison of water quality of dehydrated filtrate

mg · L<sup>-1</sup>

水 样	SS	氨氮	TN	TKN	BOD <sub>5</sub>	TCOD	SCOD	TP	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> - P	碱度
北京高安屯项目板框脱水滤液	259	2 790	3 346	—	1 279	2 711	2 323	2	—	924
西安邓家村污水厂消化池上清液	312 ~ 739	361 ~ 468	—	494 ~ 548	—	288 ~ 732	147 ~ 418	—	13.2 ~ 42.8	1 959 ~ 2 734
天津纪庄子污水厂消化污泥离心脱水滤液	2 280	114.4	127.6	—	561	1 692	—	48.2	—	—



## ② 沼气管线冷凝水

实际工程对沼气中水分去除要求不同,去除沼气中的水分有冷凝法和吸附干燥法。在高安屯项目中采用冷凝法,即利用温度差异去除沼气中的冷凝

水。因缺少文献资料,无法与同类项目进行水质对比,仅与北京某干化厂冷凝水<sup>[8]</sup>水质进行对比,结果(见表3)发现,高安屯项目沼气管线冷凝水水质呈高氨氮、低 COD、低 SS 含量的特点。

表 3 不同项目冷凝水水质对比

Tab. 3 Comparison of condensate water quality of different projects

项 目	pH 值	TCOD/(mg · L <sup>-1</sup> )	SS/(mg · L <sup>-1</sup> )	氨氮/(mg · L <sup>-1</sup> )	总磷/(mg · L <sup>-1</sup> )
北京高安屯项目冷凝水	8.15	145	22	3 462	1.34
北京某干化项目冷凝水	5.3 ± 0.3	13 810 ± 3 280	—	1 130	9.0 ± 2.1

## ③ 干式脱硫装置冷凝水

在干式脱硫过程中因有发热反应,会有部分冷凝水产生,故在实际生产中需要定期开启干式脱硫塔的排污阀进行排水操作。从废水来源分析,干式脱硫塔的冷凝水部分为发生脱硫反应的冷凝水<sup>[9]</sup>,部分为沼气进气中所挟带的冷凝水。因此,干式脱硫废水的 pH 值较低且 SS 含量较高。因少有文献数据,故未能与同类项目进行对比。从废水水质分析,干式脱硫装置的冷凝水呈高氨氮、高 SS 的特点。

## 4.3 废水可生化性分析

### ① 废水中 BOD<sub>5</sub> 与 TCOD 比值

一般采用 BOD<sub>5</sub>/TCOD > 0.3 作为衡量废水可生化性的指标。分析结果表明,板框滤液 BOD<sub>5</sub> 与 TCOD 比值为 0.46,沼气管线冷凝水 BOD<sub>5</sub> 与 TCOD 比值为 0.47,干式脱硫装置冷凝水 BOD<sub>5</sub> 与 TCOD 比值为 0.49。除干式脱硫装置冷凝水在 5 月 15 日取样中出现 BOD<sub>5</sub>/TCOD < 0.3 的情况外,其余时间段均大于 0.3。这表明高安屯项目中的这三种废水可生化性较好,可采用生化方法处理。

### ② 废水碳源分析

采用碳氮比指标进一步分析废水中的碳源含量情况,检测结果表明,三种废水的碳氮比(C/N)整体较低,沼气管线冷凝水和干式脱硫冷凝水中碳氮比数值接近(见表4)。

表 4 废水中碳源含量

Tab. 4 Carbon source content in wastewater

项 目	板框滤液	沼气冷凝水	干式脱硫冷凝水
BOD <sub>5</sub> /(mg · L <sup>-1</sup> )	1 279	70	203
总氮/(mg · L <sup>-1</sup> )	3 346	3 463	2 494
总磷/(mg · L <sup>-1</sup> )	1.71	0.56	0.57
C/N	0.38	0.02	0.08

从碳源分析,这三种废水若考虑单独生化处理工艺,需要外加碳源;使用传统的脱氮工艺处理较困

难,无法满足脱氮要求,可考虑采用厌氧氨氧化<sup>[10]</sup>或氨氮吹脱<sup>[11]</sup>等工艺。

## 4.4 集中处理的可行性

除板框滤液现状是经厌氧氨氧化系统集中处理外,其余两种废水均通过污水管线直接排放到再生水厂进水泵前池。虽然两种废水水量较少,但随着污泥处理量的提升,作为泥区废液<sup>[12]</sup>回流到再生水厂进水泵前,对再生水厂进水水质还是会造成影响。因此,可考虑将这三种废水集中收集处理,即将后两种废水纳入板框滤液处理系统,一方面是利用这两种废水的酸碱性不同进行调质;另一方面,这三种废水均为高总氮和高氨氮废水,集中处理更经济。因此,这三种废水具备集中处理的可行性。

## 5 结论与建议

### 5.1 结论

污泥处理中心产生的典型废水为板框滤液、沼气管线冷凝水和干式脱硫装置冷凝水,其共性为高总氮、高氨氮、低总磷。比较差异性可知,板框滤液 TCOD 含量较高,沼气管线冷凝水 SS 含量较低,干式脱硫装置冷凝水 pH 值较低。三种废水 BOD<sub>5</sub>/TCOD > 0.3,表明生化性较好;进一步分析废水中有机物碳氮比情况,发现碳源含量相对不足,理论上采用传统脱氮工艺处理比较困难。从酸碱性调质和水量方面比较,现况三种废水适合采用集中处理。

### 5.2 建议

在研究北京高安屯污泥处理项目典型废水水质的过程中也存在着不足,主要是废水水量的计量。因此,针对现况,提出如下建议:一是加强对污泥处理工序中排放废水的水质分析和水量监测,为今后类似项目设计和改造提供参考数据;二是在生产运行中加强沼气净化处理系统除杂脱水装置运行效果分析,为砾石过滤器、沼气冷凝水等设施维护周期的制订提供标准;三是建议在有条件的情况下改造现

况沼气脱硫装置冷凝水排放系统,以便于人工操作。

#### 参考文献:

- [1] 宋晓雅. 小红门污泥热水解厌氧消化项目运行两周年之回顾[J]. 中国给水排水, 2018, 34(22): 116 - 122.  
SONG Xiaoya. Review of biennial operation of Xiaohongmen thermal hydrolysis anaerobic digestion system[J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(22): 116 - 122 (in Chinese).
- [2] 晏发春, 汪恂, 张雷. 高温热水解预处理厌氧消化技术实例分析[J]. 中国给水排水, 2016, 32(18): 35 - 37.  
YAN Fachun, WANG Xun, ZHANG Lei. Case analysis of anaerobic digestion technology with high temperature thermal hydrolysis [J]. China Water & Wastewater, 2016, 32(18): 35 - 37 (in Chinese).
- [3] 韩晓宇, 黄京, 刘新春, 等. 厌氧氨氧化技术处理热水解消化液的实验研究[J]. 中国环境科学, 2017, 37(7): 2542 - 2549.  
HAN Xiaoyu, HUANG Jing, LIU Xinchun, et al. Study on treatment of thermal hydrolysis anaerobic digester effluent by anaerobic ammonia oxidation technique[J]. China Environmental Science, 2017, 37(7): 2542 - 2549 (in Chinese).
- [4] 韩丹, 董沫, 刘硕, 等. 厌氧氨氧化工艺处理高氨氮污泥脱水滤液技术实践[J]. 中国给水排水, 2017, 33(18): 63 - 67.  
HAN Dan, DONG Mo, LIU Shuo, et al. Practice of anaerobic ammonium oxidation for treatment of sludge dewatering filtrate containing high ammonia nitrogen [J]. China Water & Wastewater, 2017, 33(18): 63 - 67 (in Chinese).
- [5] 刘议安, 田宇, 马迁, 等. 北京市高安屯污泥处理中心工程设计及优化[J]. 给水排水, 2018, 44(8): 38 - 41.  
LIU Yi'an, TIAN Yu, MA Qian, et al. Engineering design and optimization of Beijing Gaoantun sludge treatment center[J]. Water & Wastewater Engineering, 2018, 44(8): 38 - 41 (in Chinese).
- [6] 于莉芳, 彭党聪. 城市污水厂污泥水脱氮技术的应用及进展[J]. 中国给水排水, 2007, 23(8): 9 - 13.  
YU Lifang, PENG Dangcong. Application and progress of nitrogen removal technology from sludgewater in MWWTP [J]. China Water & Wastewater, 2007, 23(8): 9 - 13 (in Chinese).
- [7] 崔涵. 浓缩、脱水滤液中污染物对城市污水处理效果的影响[D]. 天津: 天津大学, 2010.  
CUI Han. Research on Pollutants of Concentration and Dehydrated Filtrate for Municipal Wastewater Treatment [D]. Tianjin: Tianjin University, 2010 (in Chinese).
- [8] 李安峰, 骆坚平, 黄丹, 等. 污泥干化冷凝水水质特征分析[J]. 环境工程学报, 2015, 9(1): 253 - 256.  
LI Anfeng, LUO Jianping, HUANG Dan, et al. Water quality characteristics of condensate from sludge drying process [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2015, 9(1): 253 - 256 (in Chinese).
- [9] 陈浩泉. 活性氧化铁在填埋场沼气净化中的应用[J]. 环境卫生工程, 2015, 23(5): 78 - 80.  
CHEN Haoquan. Application of activated iron oxide in biogas purification of waste landfill sites [J]. Environmental Sanitation Engineering, 2015, 23(5): 78 - 80 (in Chinese).
- [10] 金彪. 污泥消化液采用厌氧氨氧化工艺处理的技术实践[J]. 中国给水排水, 2011, 27(22): 57 - 60.  
JIN Biao. Practice of anaerobic ammonia oxidation in treatment of sludge digestion effluent [J]. China Water & Wastewater, 2011, 27(22): 57 - 60 (in Chinese).
- [11] 吴树彪, 徐新洁, 孙昊, 等. 厌氧消化液氨氮吹脱回收整体处理装置设计与中试试验[J]. 农业机械学报, 2016, 47(8): 208 - 215.  
WU Shubiao, XU Xinjie, SUN Hao, et al. Design and test of integrated device for ammonia nitrogen stripping and recovery of anaerobic-digested effluent [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(8): 208 - 215 (in Chinese).
- [12] 郝瑞霞, 张毅, 万宏文, 等. 泥区废液回流对污水处理系统出水水质特性的影响[J]. 环境工程学报, 2011, 5(7): 1558 - 1561.  
HAO Ruixia, ZHANG Yi, WAN Hongwen, et al. Effect of waste liquid from sludge treatment area on water quality of effluent of sewage treatment systems [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2011, 5(7): 1558 - 1561 (in Chinese).

**作者简介:** 宋晓雅 (1971 - ), 女, 河北石家庄人, 硕士, 教授级高级工程师, 北京排水集团技术主任, 北排水环境公司污泥处理技术中心主任, 研究方向为污水处理与污泥处理处置。

**E-mail:** songxy@bdc.cn

**收稿日期:** 2019 - 06 - 06

**修回日期:** 2019 - 10 - 23

(编辑: 丁彩娟)