

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2020.18.021

# 昆明市污水处理厂污泥处理工艺的研究与探讨

孙建升, 叶雅丽, 郑兴灿, 张秀华, 屈凯, 李山河, 姜颖, 刘雅巍  
(中国市政工程华北设计研究总院有限公司, 天津 300074)

**摘要:** 昆明市主城区及环湖区域共 22 座水质净化厂, 当前污泥产量为 1 061.54 t/d (污泥含水率为 80%), 现状污泥处理能力仅为 529 t/d, 污泥的处理处置已成为亟待解决的问题。对昆明市现状污泥进行了泥质分析, 结果显示污水处理厂污泥混合后可以满足土地利用、卫生填埋、建材利用(水泥熟料生产)及焚烧等处置方式。系统分析昆明当前各种污泥处置途径的可行性, 推荐的污泥处置途径为水泥窑协同焚烧处置(资源化利用), 卫生填埋作为有效补充。对厌氧消化、好氧发酵、干化焚烧等 3 种污泥处理方式的技术比较, 结合本工程的污泥处置途径, 确定采用热干化的污泥处理方式。对圆盘热干化等 5 种干化设备进行比选, 推荐采用圆盘干化。该工程技术路线为圆盘热干化+水泥窑协同焚烧, 工程投资 2.49 亿元, 单位处理成本 361.8 元/t。

**关键词:** 市政污泥; 污泥处理; 热干化; 水泥窑协同焚烧

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2020)18-0108-05

## Research and Discussion on the Sludge Disposal Technology of Kunming WWTPs

SUN Jian-sheng, YE Ya-li, ZHENG Xing-can, ZHANG Xiu-hua, QU Kai,  
LI Shan-he, JIANG Ying, LIU Ya-wei

(North China Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Tianjin 300074, China)

**Abstract:** There are 22 wastewater treatment plants (WWTPs) in main districts and lake surrounding area of Kunming, which produce 1 061.64 t/d of sludge with water content of 80%. The present sludge treatment capacity is only 529 t/d, so sludge disposal has become an urgent problem to be solved in Kunming. The analysis results of local sludge characteristic show that the mixed sludge can meet the requirements of land use, sanitary landfill, building materials utilization as cement clinker production and incineration. Through systematically analyzing the feasibility of sludge disposal ways in Kunming, cement kiln incineration for resource reclamation is recommended as sludge disposal method, and sanitary landfill is taken as supplementary disposal. After comparing with three sludge disposal methods including anaerobic digestion, aerobic fermentation and dry incineration, and combining with the sludge disposal methods of this project, thermal drying was determined as sludge treatment methods. Five drying equipment such as disc drying are compared and disc drying is recommended. Thus disc thermal drying and cement kiln incineration are selected as the technical route of the project. The investment is 249 million yuan, and the unit processing cost is 361.8 yuan/t.

**Key words:** municipal sludge; sludge treatment; thermal drying; cement kiln incineration

昆明全市总面积为 21 473 km<sup>2</sup>, 建成区面积为 435.81 km<sup>2</sup>, 2019 年常住人口 695 万人, 城镇人口

511.52 万人,国内生产总值为 6 475.88 亿元,人均生产总值为 93 853 元。截至 2019 年底,昆明都市核心区污水处理厂(即水质净化厂,下同)共 22 座,现状污水处理总规模约  $167 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,污泥产量约 1 061.54 t/d(污泥含水率为 80%)。现状污泥处理设施处理能力约 592 t/d。由于污泥处理处置能力不足,给污水处理厂的正常运行带来了诸多影响,因此,对污泥进行合理的处理处置,已成为昆明市亟待解决的问题。

### 1 污泥量预测与工程规模

根据已建污水处理厂近远期的规模、现状污泥产率,并充分考虑昆明地标实施、污水厂提质增效等因素,预计主城区及环湖区域 22 座污水处理厂近期污泥产量为 1 459.7 t/d,远期(2035 年)污泥产量为 2 245.5 t/d。综合考虑现有污泥设施调试运行情况、矿山修复及卫生填埋项目的进展,结合滇池流域水环境保护治理“十三五”规划、昆明市污泥处理处置专项规划,为最大限度地保证主城区及环湖区域产生污泥的稳定处理,确定工程规模为 700 t/d。

### 2 泥质分析

昆明滇池水务股份有限公司对近 3 年(2016 年—2018 年)第一至第十污水处理厂的泥质进行了检测(污水处理总规模为  $140 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,占主城区及环湖 22 座污水厂处理量的 84%),以重金属指标为主,其余指标还有 pH 值、有机物含量和氮磷钾养分含量。根据检测报告,昆明主城区污水处理厂污泥混合后可以满足土地利用(农用泥质中 B 级污泥、土地改良泥质中的中性土壤、园林绿化用泥质中的中性和碱性土壤、林地用泥)、卫生填埋、建材利用(水泥熟料生产)及焚烧等处置方式。有机质含量及部分重金属检测结果见图 1。

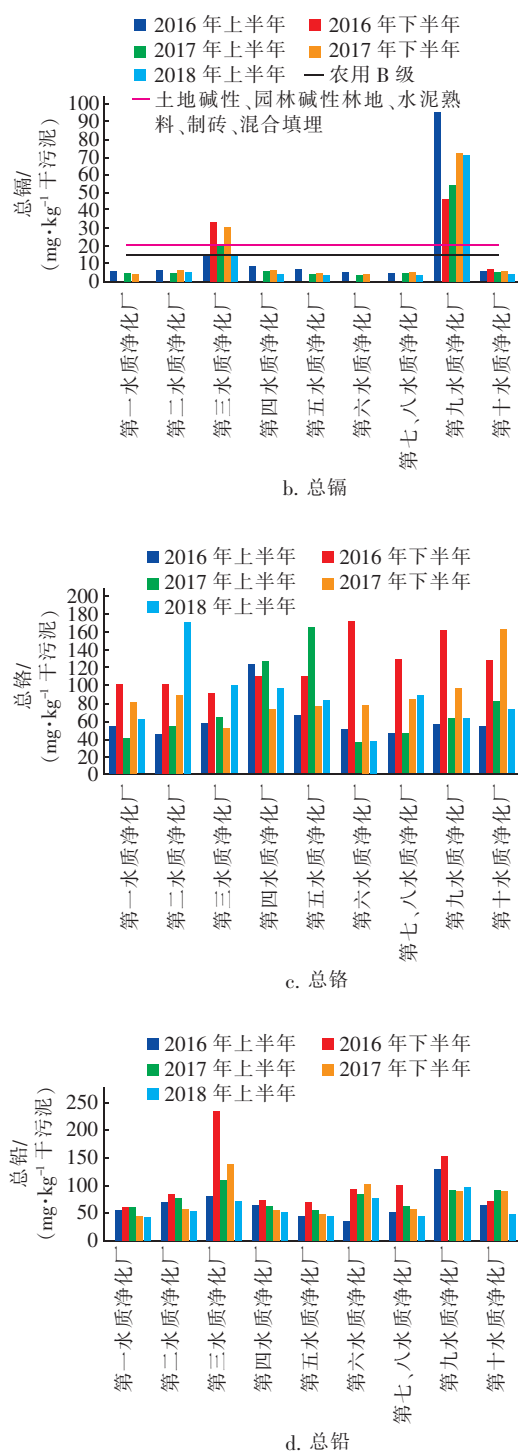
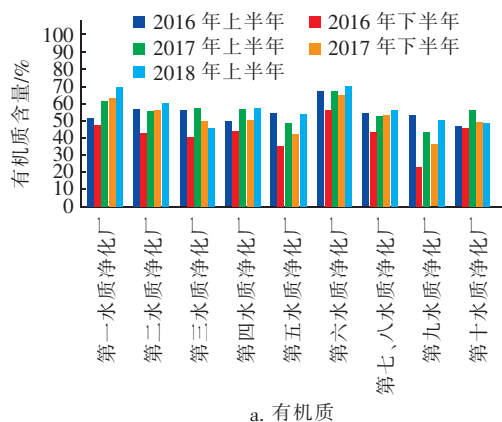


图 1 有机质及部分重金属含量

Fig. 1 Organic matter content and heavy metal content

### 3 处置途径

《城镇污水处理厂污泥处置 分类》(GB/T 23484—2009)将污泥处置方法分为 4 大类:污泥土地利用、污泥填埋、污泥建材利用、污泥焚烧。设计单位对当前昆明污泥处置进行了系统调研,卫生填

埋在一段时间内仍是一种不可或缺的过渡性处置途径;土地利用途径尚未完全打通,缺乏相关的扶持政策及运行监管的机制,需要积极推进;独立焚烧不受上游辅料、下游产品市场及协同焚烧处理能力不稳定等因素的影响,但选址周期长,该工程暂不具备条件;建材利用(水泥、陶粒、轻骨料、砖),使污泥成为建材的一部分,实现完全的稳定化、无害化和资源化<sup>[1-2]</sup>,是当前昆明市较为可行的主要途径。

对于本工程而言,这些污水处理厂主要处理生活污水,污泥平均有机质含量为51%,在脱水干化后(含水率降至40%左右),干污泥热值为5 724.6 kJ/kg,具有较高的燃烧价值,且昆明及其周边有较多的水泥厂可供选择,将本工程处理后的污泥作为掺烧物,为窑炉燃烧提供热量,符合昆明市建设低碳环保新城的目标。考虑到当前污泥处理处置任务十分紧迫,污泥规模较大,污泥处置方式的选择应以可持续消纳本工程处理后污泥为前提,推荐的污泥处置途径为水泥窑协同焚烧处置(资源化利用),卫生填埋作为有效补充。

#### 4 处理工艺比选

##### 4.1 污泥处理技术路线

污泥处理主要工艺路线见图2。

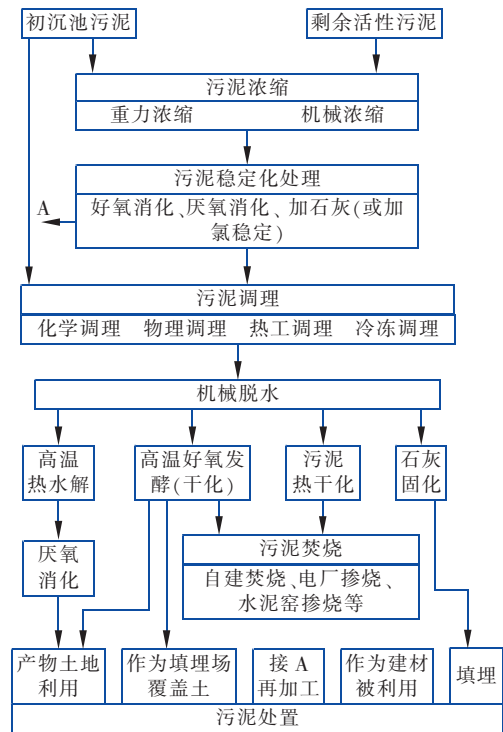


图2 污泥处理主要工艺路线

Fig.2 Main process route of sludge treatment

目前国内污泥处理主流工艺方案总结如表1所示。

表1 污泥处理主流工艺方案

Tab.1 Main process schemes of sludge treatment

项目	厌氧消化+干化	干化焚烧	好氧发酵
原理	利用厌氧微生物使污泥和有机物转化为生物能源	通过高温破坏污泥中的有机物和细菌、病原体	利用好氧微生物使有机物/污泥矿化、腐殖化
优点	产生沼气能源,污泥稳定化处理后,可土地利用,回收磷资源	处理效率高、占地小、无需长期贮存	处理成本较低,发酵产物可作为园林绿化养殖土和土壤改良剂
缺点	投资及处理成本较高,存在H <sub>2</sub> S的释放	投资及处理成本高,且产生烟气、灰飞、二噁英等有害物	发酵过程有臭气、气溶胶、病毒的散发,影响环境,秸秆等辅料受生长周期影响,供应不稳定
处置方式	土地利用或干化焚烧后建材利用	建材利用	土地利用

污泥处理工艺的选择应尽量不给后续处置方式带来影响,尤其高含固率不能以破坏污泥结构及组成为代价。通过上述技术比较并结合昆明市实际情况,本工程污泥处理方案推荐采用污泥干化方案,干化后含固率为60%~70%(可调),可以与水泥窑协同焚烧作为建材原料的资源化利用,与燃煤热电厂、垃圾焚烧发电厂协同掺烧、单独焚烧,此含固率还可以适应更多污泥处置路线<sup>[2-3]</sup>。

##### 4.2 污泥干化工艺比选

根据本工程热干化指标,污泥热干化可采用圆

盘式、桨叶式、卧式薄层、带式、低温真空脱水干化等间接式污泥干化设备。

5种干化设备比选见表2。

针对圆盘式、桨叶式、卧式薄层、带式、低温真空脱水5种间接式污泥干化机,原则上本工程的污泥处理处置路线——热干化+协同焚烧下均可以使用,但拟选厂址狭长,可用面积较小,占地限制较大,综合考虑设备投资及国产化情况,国内大规模业绩应用案例,建设工期以及更好地对热源进行利用,本阶段暂定污泥干化工艺为圆盘干化工艺。

表 2 干化设备比选

Tab. 2 Comparison and selection of thermal drying equipment

项目	圆盘式干化	桨叶式干化	卧式薄层干化	带式干化	低温真空脱水干化
	20% DS 干化至 60% DS				
生产线配置	6 条 传热面积 475 m <sup>2</sup>	7 条 传热面积 200 m <sup>2</sup>	5 条 单机额定蒸 发量 4 762 kg/h	7 条 2 层干化带 和 6 个模块	14 条 采用最大机型(800 m <sup>2</sup> )
外加药剂(除臭 系统除外)	无	无	无	无	PAM 最大投加 1~2 kg/tDS, PAC 最大投加 30~50 kg/tDS
设备总投资	最低(已国产化)	较高(进口,国产化 可降低)	最高(进口,国产化 可降低)	较低(关键部件 进口)	较高(国产)
设备密封性及 周边环境影响	臭气量少,浓度高, 温度高,易收集,对 环境影响小	臭气量少,浓度高, 温度高,易收集,对 环境影响小	臭气量少,浓度高, 温度高,易收集,对 环境影响小	臭气量大,浓度高, 温度低,易收集,对 环境影响小	臭气量大,浓度低,温度低, 设备密封,对环境的影响小
主要检修部位	定期检测叶片厚度	定期检测叶片厚度	定期抽轴	定期紧固皮带	6 个月换一次滤布,2 年换 一次橡胶板,8 年换一次滤 板,滤布清洗量大
国内同规模市 政污泥处理业 绩	多(已国产化,目前 日本订单也由中国 生产)	多(均为进口设备, 国产化设备无业 绩)	较多(多为两段式 第一段)	较少	相对较少,但大规模应用业 绩少

5 工艺设计

① 工艺参数

热源:过热蒸汽,0.7 MPa(绝对压力),270 ℃;  
热耗:1 869.71 MJ/d;电耗:31 500 kW·h/d;进泥:  
污泥量 700 t/d(污泥含水率 80%),干污泥量 140

t/d;出泥:干化后污泥量 233.33 t/d,污泥含固率  
60%;工作时间:24 h/d;污泥计量:在液压柱塞泵后  
的输泥管道设置污泥计量装置。

② 工艺流程

污泥处理工艺流程见图 3。

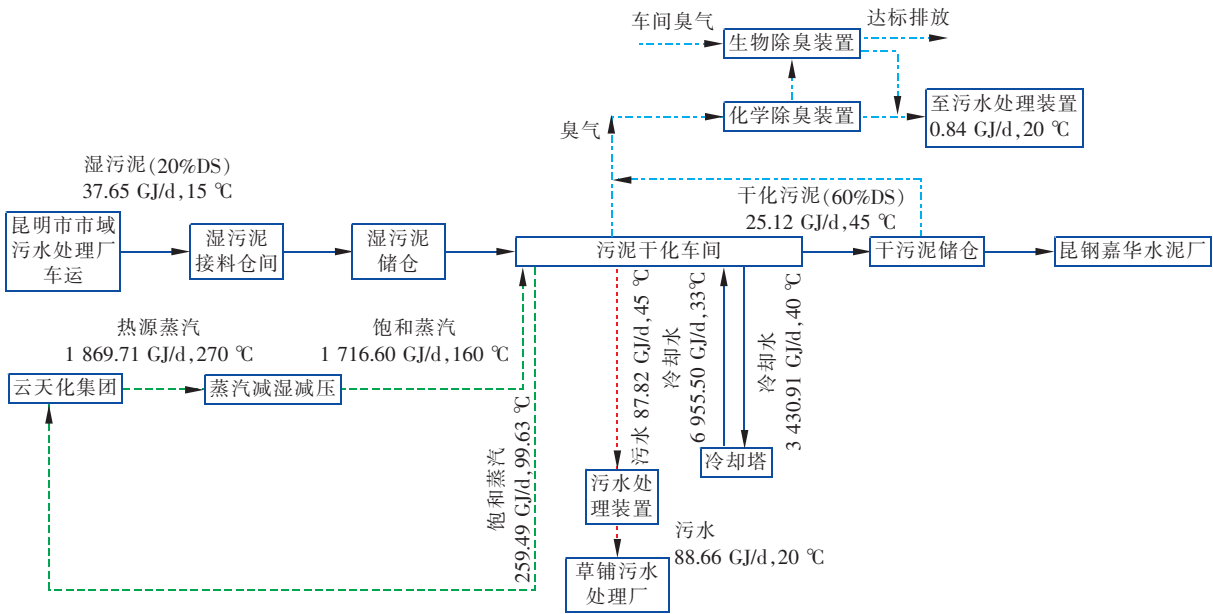


图 3 污泥处理工艺流程

Fig. 3 Flow chart of sludge treatment process

③ 湿污泥接收及储运系统

脱水污泥由车运至湿污泥接收仓,接收后的湿  
污泥通过泵输送至存储仓,之后通过卸料泵输送至

每台干化机,湿污泥接收存储单元按 1.5 d 的存储  
量考虑。设置湿污泥接收仓 3 座,单仓体积 100 m<sup>3</sup>;  
污泥进料泵(柱塞泵)3 台,单泵流量 30 m<sup>3</sup>/h,单机



功率132 kW;湿污泥储存仓2座,单仓体积500 m<sup>3</sup>;卸料螺旋7台,6用1冷备;污泥输送泵7台,6用1冷备,单泵流量10 m<sup>3</sup>/h,单机功率112 kW。

#### ④ 污泥干化系统

设置圆盘式干化机6台,单机额定处理能力120 t/h,单机功率110 kW;尾气除尘器6台,流量9 000 m<sup>3</sup>/h,介质温度90~105℃;尾气冷凝器6台,流量9 000 m<sup>3</sup>/h,介质进口温度90~105℃,不凝气出口温度50℃,冷却水温度33/40℃;引风机2台,单台流量28 000 m<sup>3</sup>/h,单机功率110 kW;冷却水塔6座,循环水泵2台,单泵流量2 200 m<sup>3</sup>/h,单机功率110 kW,1用1备。

#### ⑤ 干污泥储运系统

将干化后污泥输送至干污泥储仓,通过车运至处置单位。设置水平干泥密封刮板输送机1套,15 t/h,15 kW,长43 m;大倾角干泥密封刮板机1套,15 t/h,22 kW,长30 m;干泥储存仓2座,单仓体积200 m<sup>3</sup>,功率75 kW。

#### ⑥ 除臭系统

设置化学除臭系统1套,处理量30 000 m<sup>3</sup>/h;生物除臭系统1套,处理量130 000 m<sup>3</sup>/h,配套风机、生物滤床、填料、爬梯、风机与滤池连接的管道、控制箱等;离子新风系统1套,送风量25 000 m<sup>3</sup>/h,配套风机、离子发生器等。

#### ⑦ 污水处理系统

本工程处理后的污水达到《污水排入城镇下水道水质标准》(GB/T 31962—2015),由市政污水管网输送至草铺污水处理厂进行处理。污水处理规模为600 m<sup>3</sup>/d,采用两级AO处理工艺,将污水处理线各处理单元(调节池、初沉池、生物池、二沉池)合并为一体化构筑物,利用内部隔墙进行分隔;一体化构筑物平面尺寸30.1 m×13.9 m,池深约7 m。

### 6 经济分析

该工程总投资2.49亿元,其中工程费用1.88亿元。单位经营成本304.9元/t,单位处理成本361.8元/t,处理成本中含水泥窑协同处置费用;项目资本金财务内部收益率为8.44%,高于行业基准收益率,在财务上是可行的。

### 7 结语

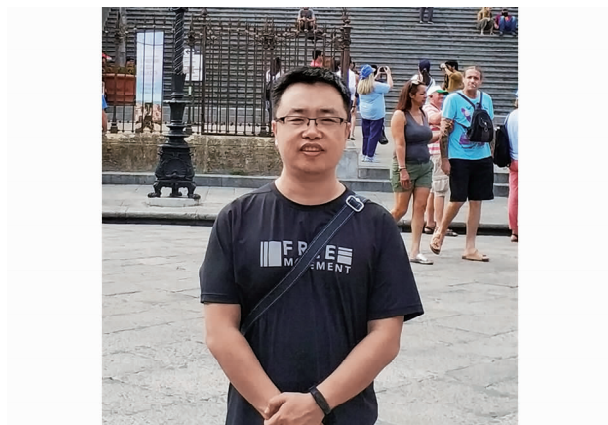
① 在污泥量的预测中,充分考虑了污水处理厂提质增效、厂网一体化等污泥产率影响因素,确定了工程规模为700 t/d。

② 在系统分析昆明市当前土地利用、卫生填埋、建材利用、独立焚烧等处置路线的可行性的基础上,本工程确定采用圆盘热干化+水泥窑协同焚烧的处理处置技术路线,实现了污泥处理处置的减量化、无害化与稳定化。

③ 整个工艺布局紧凑,占地仅为9 389 m<sup>2</sup>,节地效果明显。

#### 参考文献:

- [1] 郝晓地,陈奇,李季,等. 污泥干化焚烧乃污泥处理/处置终极方式[J]. 中国给水排水,2019,35(4):35-42. Hao Xiaodi, Chen Qi, Li Ji, et al. Ultimate approach to handle excess sludge: Incineration and drying[J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(4): 35-42 (in Chinese).
- [2] 王兴润,金宜英,聂永丰. 国内外污泥热干燥工艺的应用进展及技术要点[J]. 中国给水排水,2007,23(8):5-8. Wang Xingrun, Jin Yiyang, Nie Yongfeng. Application progress and technical mains of thermal sludge drying processes at home and abroad [J]. China Water & Wastewater, 2007, 23(8): 5-8 (in Chinese).
- [3] 姚金玲. 污水处理厂污泥处理处置技术评估[D]. 北京:中国环境科学研究院,2010. Yao Jinling. The Assessment on Municipal Sewage Sludge Treatment and Disposal Technologies [D]. Beijing: Chinese Research Academy of Environmental Sciences, 2010 (in Chinese).



作者简介:孙建升(1979—),男,河北沧州人,硕士,高级工程师,从事给水排水规划、设计、水污染控制与修复工作。

E-mail:hbysjs@126.com

收稿日期:2020-05-29