

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2021.08.050

南通市某污水厂扩建工程污泥处理方案比选分析研究

冯 亮
(上海市水利工程设计研究院有限公司, 上海市 200061)

摘 要: 针对南通市经济技术开发区某污水厂扩建工程污泥处理方案,从设备配置、建设成本、运行成本三个方面对低温真空脱水干化工艺、低温除湿干化工艺、板框压滤脱水工艺三种污泥处理方案进行比选分析。在现有处置费用基础上,低温除湿干化工艺(电加热)长期运行成本最低。
关键词: 污泥处理;低温真空脱水干化工艺;低温除湿干化工艺;板框压滤脱水工艺
中图分类号: X703.1 **文献标志码:** B **文章编号:** 1009-7716(2021)08-0191-03

0 引 言

随着我国水环境治理行业的突飞猛进的发展,污水污泥处理规模逐年递增。国内污泥处理处置主要以“厌氧消化/好氧发酵+土地利用”、“干化焚烧+灰渣填埋或者建材利用”两种主流技术路线为主^[1]。近年来在经济发达、土地资源紧缺的沿海城市,污泥脱水后单独焚烧或者掺烧的处置的工程案例越来越多^[2-3]。常用的污泥脱水方式主要有热干化脱水技术、机械脱水技术、深度脱水技术^[4],以及低温除湿干化技术^[5]。现以南通市经济技术开发区某污水厂扩建工程污泥处理工程为例,对低温真空脱水干化工艺、低温除湿干化工艺、板框压滤脱水工艺三种污泥处理方案进行对比分析,以确定合适的技术方案,为工程实践提供指导。

1 项目简介

1.1 项目背景

南通市经济技术开发区某污水厂目前已建一、二、三期,规模 10 万 m³/d。四期近期扩建规模 5 万 m³/d,远期扩建规模 10 万 m³/d,总规模 25 万 m³/d。四期扩建工程主要污水处理工艺采用水解酸化+AAO+高效沉淀+臭氧氧化。出水执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》中的一级 A 标准,处理后尾水排放至长江。

污水厂现状一、二、三期污泥总产量约为 48 tDS/d,采用重力浓缩+板框压滤脱水工艺,脱水

后的污泥含水率约为 55%~60%,处理后运至当地某发电企业掺烧处置。

1.2 设计进水水质

根据污水厂服务范围内产业发展规划,参照一、二、三期设计及实际进水水质数据,确定该工程进水水质,出水水质执行一级 A 标准,如表 1 所列。

表 1 设计进、出水水质一览表

序号	水质指标	设计进水水质	设计出水水质
1	COD/(mg·L ⁻¹)	500	50
2	BOD ₅ /(mg·L ⁻¹)	150	10
3	SS/(mg·L ⁻¹)	250	10
4	TN/(mg·L ⁻¹)	60	15
5	NH ₃ -N/(mg·L ⁻¹)	35	5(8)
6	TP/(mg·L ⁻¹)	8	0.5
7	pH	6~9	6~9

注:括号外数值为水温>12℃时的控制指标,括号内数值为水温≤12℃时的控制指标。

1.3 污泥处理规模

近期扩建 5 万 m³/d,剩余污泥量为 9 160 kgDS/d,化学污泥为量 9 270 kgDS/d;远期 10 万 m³/d,剩余污泥量为 18 320 kgDS/d,化学污泥量为 18 540 kgDS/d。扩建工程 15 万 m³/d 污泥总量为 55.29 tDS/d。根据理论计算污泥量,结合一二三期实际运行产泥率,并考虑一定的安全余量,该工程近期污泥量按 20 tDS/d,远期按 60 tDS/d 考虑。

2 污泥处理方案选择

目前污泥处理处置方案路线主要有:脱水+外运填埋/干化焚烧,脱水干化+外运焚烧等。该工程主要针对污水厂现状污泥处理处置工艺方案和污泥干化工艺方案进行比较分析,其中干化工艺比较了低温

收稿日期: 2020-12-22
作者简介: 冯亮(1988—),男,硕士,工程师,从事给排水工程设计工作。

除湿干化工艺和低温真空脱水干化工艺。

按照工程远期污泥量(绝干量)60 tDS/d,对污泥干化方案和深度脱水方案进行比选。以下为拟采用的四套工艺方案。

方案一:采用低温真空脱水干化工艺,利用热电厂蒸汽供热。处理能力 60 tDS/d,干化后含水率小于 40%。

方案二:采用离心脱水+低温除湿干化工艺(电加热)。处理能力 60 tDS/d,干化后含水率小于 40%。配置 5 套离心脱水机+低温除湿干化机,单套处理能力 12 tDS/d(蒸发量 48 t,考虑 20%的余量)。

方案三:采用离心脱水+低温除湿干化工艺(蒸汽加热)。处理能力 60 tDS/d,干化后含水率小于 40%。配置 5 套离心脱水机+低温除湿干化机,单套处理能力 12 tDS/d(蒸发量 48 t,考虑 20%的余量)。

方案四:采用板框压滤脱水工艺。处理能力 84 tDS/d,脱水后污泥含水率小于 60%。

四种工艺方案具体设备配置详见表 2 所列。

3 污泥处理方案比选

3.1 建设总投资比较

低温真空脱水干化工艺建设投资最高,低温除湿干化(电加热)、低温除湿干化(蒸汽加热)和板框脱水投资费用依次降低,见表 3 所列。

表 3 污泥处理处置方案建设投资比较表 单位:万元

序号	投资成本	低温真空脱水干化工艺	低温除湿干化工艺(电加热)	低温除湿干化工艺(蒸汽加热)	板框压滤脱水工艺
1	设备投资	12 200	8 740	7 650	6 600
2	土建投资	841	841	841	841
4	建设总投资	13 041	9 581	8 491	7 441

3.2 运行费用比较

四套方案电耗投加药剂量见表 4 所列;耗材单价见表 5 所列;运行费用比较见表 6 所列。

表 2 四种工艺方案具体设备配置表

序号	项目	低温真空脱水干化工艺	低温除湿干化(电加热)工艺	低温除湿干化(蒸汽加热)工艺	板框压滤脱水工艺
1	污泥调理	调质池搅拌器(7套): $\varphi 350\text{ mm}$ PAC 加药泵(7套): $Q=1.5\text{ m}^3/\text{h}$, $H=15\text{ m}$	无	无	石灰投加系统 1 套; 搅拌机 2 台;石灰料仓 1 台
2	污泥进料	进泥螺杆泵(7台): $Q=30\text{--}40\text{ m}^3/\text{h}$, $H=30\text{ m}$, $P=7.5\text{ kW}$ 污泥切割机(7台): $Q=65\text{ m}^3/\text{h}$, $H=40\text{ m}$, $P=3.0\text{ kW}$ PAM 制备装置(3套): $Q=6\,000\text{ L/h}$ PAM 加药泵(7台): $Q=4\,000\text{ L/h}$, $H=20\text{ m}$, $P=3.0\text{ kW}$	进泥螺杆泵(7台): $Q=30\text{--}40\text{ m}^3/\text{h}$, $H=30\text{ m}$, $P=7.5\text{ kW}$ 污泥切割机(7台): $Q=65\text{ m}^3/\text{h}$, $H=40\text{ m}$, $P=3.0\text{ kW}$ PAM 制备装置(3套): $6\,000\text{ L/h}$ PAM 加药泵(7台): $Q=4\,000\text{ L/h}$, $H=20\text{ m}$, $P=3.0\text{ kW}$	进泥螺杆泵(7台): $Q=30\text{--}40\text{ m}^3/\text{h}$, $H=30\text{ m}$, $P=7.5\text{ kW}$; 污泥切割机(7台): $Q=65\text{ m}^3/\text{h}$, $H=40\text{ m}$, $P=3.0\text{ kW}$; PAM 制备装置(3套): $6\,000\text{ L/h}$; PAM 加药泵(7台): $Q=4\,000\text{ L/h}$, $H=20\text{ m}$, $P=3.0\text{ kW}$	低压螺杆泵(7台): $Q=90\text{ m}^3/\text{h}$, $H=40\text{ m}$, $P=72\text{ kW}$; 高压螺杆泵(7台): $Q=40\text{ m}^3/\text{h}$, $H=80\text{ m}$, $P=68.5\text{ kW}$
3	脱水机	无	离心脱水机(7套):单机处理能力 600 kgDS/h, $P=55\text{ kW}$; 湿污泥缓冲料仓(5套):单套容积 5 m ³ ;双向螺旋输送机 5 套;应急输送螺旋输送机 1 套	离心脱水机(7套):单机处理能力 600 kgDS/h, $P=55\text{ kW}$; 湿污泥缓冲料仓(5套):单套容积 5 m ³ ;双向螺旋输送机,5 套;应急输送螺旋输送机 1 套	板框脱水机(7套):6 用 1 备,单机处理能力 14 tDS/d
4	干化主机	干化机(7套):单机处理能力 9.67 tDS/d 压榨泵(7套): $Q=30\text{ m}^3/\text{h}$, $H=100\text{ m}$,热水箱 1 套	低温除湿干化主机 5 套,单机蒸发量 48 t/d	低温除湿干化主机 5 套,单机蒸发量 48 t/d	无
5	加热系统	蒸汽换热器(8套):90 m ²		蒸汽换热器(5套):90m ²	无
6	冷却系统	冷却水泵(8套) $Q=200\text{ m}^3/\text{h}$	冷却水泵(5套): $Q=80\text{ m}^3/\text{h}$	冷却水泵(5套): $Q=80\text{ m}^3/\text{h}$	无
7	卸料系统	水平螺旋输送机 16 套,刮板输送机 2 套,污泥料仓 60 m ³ ,2 套	水平螺旋输送机 2 套,刮板输送机 6 套,污泥料仓 60 m ³ ,2 套	水平螺旋输送机 2 套,刮板输送机 6 套,污泥料仓 60 m ³ ,2 套	水平螺旋输送机 8 套,倾斜输送机 2 套,污泥料仓 100 m ³ ,2 套

表 4 污泥电耗、投加药剂量汇总表

序号	项目	低温真空脱水干化工艺	低温除湿干化工艺 (电加热)	低温除湿干化工艺 (蒸汽加热)	板框压滤脱水工艺
1	电耗 / ($\text{kWh}\cdot\text{d}^{-1}$)	13 200	54 980	19 180	3 303
2	蒸汽 / ($\text{m}^3\cdot\text{d}^{-1}$)	183	无	250	无
3	PAC / ($\text{kg}\cdot\text{d}^{-1}$)	2 400	无	无	无
4	PAM / ($\text{kg}\cdot\text{d}^{-1}$)	90	180	180	无
5	三氯化铁 / ($\text{t}\cdot\text{d}^{-1}$)	无	无	无	6.0
6	生石灰 / ($\text{t}\cdot\text{d}^{-1}$)	无	无	无	24.0

表 5 耗材单价表

材料名称	单价	单位	备注
生石灰	660	元 /t	
三氯化铁	450	元 /t	40%有效浓度
蒸汽	190	元 / m^3	
电	0.71	元 /t	
水	3.6	元 /t	
PAC	2 000	元 /t	
PAM	30 000	元 /t	
污泥外运处置费	235	元 /t	40%~60%含水率

表 6 污泥处理处置方案运行费用比较表

序号	项目	低温真空脱水干化工艺	低温除湿干化工艺 (电加热)	低温除湿干化工艺 (蒸汽加热)	板框压滤脱水工艺
1	绝干污泥 / ($\text{tDS}\cdot\text{d}^{-1}$)	60.0	60.0	60.0	84
2	干化脱水后污泥含水率	40%	40%	40%	60%
3	干化污泥量 / ($\text{t}\cdot\text{d}^{-1}$)	100.0	100.0	100.0	210.0
4	污泥处理运行费 /($\text{元}\cdot\text{d}^{-1}$) =4.1+4.2+4.3	51 642	44 436	66 518	24 936
4.1	药剂费 /($\text{元}\cdot\text{d}^{-1}$)	7 500	5 400	5 400	22 590
4.2	蒸汽 /($\text{元}\cdot\text{d}^{-1}$)	34 770	—	47 500	—
4.3	电费 /($\text{元}\cdot\text{d}^{-1}$)	9 372	39 036	13 618	2 346
5	污泥外运处置费 /($\text{元}\cdot\text{d}^{-1}$)	23 500	23 500	23 500	49 350
6	污泥日处理处置运行费 / ($\text{元}\cdot\text{d}^{-1}$)=4+5	75 142	67 936	90 018	74 286
7	年运行费用 / (万元)	2 743	2 480	3 286	2 711
8	运行费用排序	3	1	4	2

比较结果表明,当污泥外运处置费均为 235 元 / 吨时,采用电能的低温除湿干化工艺运行成本最低,其

次是板框脱水后外运处置和低温真空脱水干化工艺,采用蒸汽供热方式的低温除湿干化工艺运行费用最高。

3.3 长期运行投资成本比较

四种工艺方案的运行费用比较,低温除湿干化(蒸汽加热)方案运行费用远高于其他三个方案,经济性差。为此,从长期运行投资成本比较,不考虑该方案,主要是对低温除湿干化(电加热)工艺、低温真空脱水干化工艺与板框脱水工艺等三种工艺长期运行建设总投资和运行成本的总费用进行比较(见图 1)。

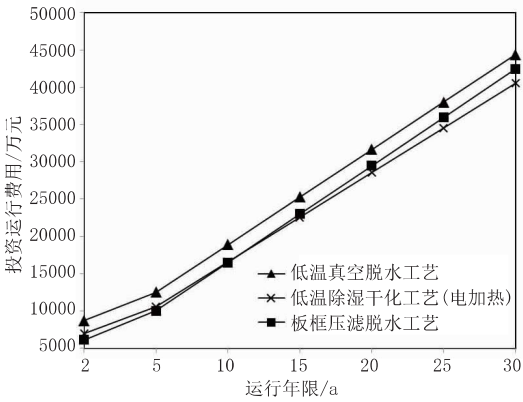


图 1 长期投资运行费用比较曲线图

影响三种工艺长期运行成本的主要因素是电费单价、板框脱水污泥含水率和污泥外运处置费用单价。电费单价为固定,本报告按污水厂现状 0.71 元 / 度计取。板框压滤脱水污泥含水率取 60%。污泥外运处置费用以 40%~60% 含水率污泥外运处置单价 235 元 / 吨计取。

在板框脱水污泥含水率在 60% 时,40%~60% 含水率干化污泥外运处置费用均按 235 元 / 吨计取,采用低温除湿干化(电加热)工艺运行 9 年建设投资和运行成本总费用可与板框脱水持平,收回其设备增加费用。综合比较,该工程推荐采用离心脱水 + 低温除湿干化工艺(电加热)。

4 结 论

(1)在电费单价、污泥外运处置费确定的情况下,实际剩余污泥量对各种污泥处理处置工艺的成本对比结果影响较大。该工程从长期运行成本分析,低温除湿干化具有一定的优势。

(2)污泥板框压滤脱水需要投加三氯化铁、生石灰等药剂,对后续焚烧工艺长期安全性存在不利影响,且较大的加药量与环保的理念背道而驰。

(下转第 225 页)

表 5 裂缝验算成果表

部位	原配筋(HRB335)	现状(设计水位 5.5 m)	道路施工完成后(设计水位 7.5 m)
底板	Φ 22@100+Φ 25@100	0.133	0.164 mm
顶板	Φ 25@100	0.145	0.172 mm
侧墙	Φ 22@100+Φ 20@100	0.154	0.184 mm

构现状使用状态,确保施工安全。在施工过程中,应严格按照设计的分段跳挖及分层开挖回填等原则进行,并实时关注地铁监测数据,合理安排施工,避免一次性大面积卸载或回填导致地铁结构破坏。

4 地铁监测数据分析

根据该项工程需要,将现场监控量测与信息反馈作为重要的一道工序纳入施工组织中,并应贯穿施工过程始终。其目的是:实时监测地铁隧道及轨道的三维变化情况,实时分析轨道的平顺度,保障列车的安全运营。

结合实际情况,设计按以下方案进行:1 号线明挖区间每 10 m 布设一个断面,每个断面布设 4 个观测点(道床 2 个,侧壁 2 个)。监测施工时,以自动化监测为主,人工监测为辅。监测周期应从施工开始至影响地铁设施的分部工程结束后三个月,且监测曲线趋于平缓时止。

监测数据使用徕卡 Geomos 系统进行处理,将监测量、监测量变化、监测量速率的时间过程曲线及进尺过程曲线绘制的同时,还能将地面与地下监测变形量值进行关联分析,在地铁运营期,可对地铁隧道情况进行监督。

根据《深地铁安保[2019]南山 1- 停测 -3 号》文件,截止 2018 年 6 月 30 日,地铁 1 号线左线水平位移 X 方向最大累计值为+1.7 mm,Y 方向最大累计值为+0.8 mm,垂直位移累计最大值+6.5 mm;地铁 1 号线右线水平位移 X 方向最大累计值为+1.9 mm,Y 方向最大累计值为+0.7 mm,垂直位移累计最大值+6.4 mm。可见项目施工对地铁 1 号线有所影响,但影响均在设计控制范围内,进一步证明了该项目采用轻质土路基填筑方案是可行的,有效的。

5 结 语

结合实际的工程项目,将气泡混合轻质土路基在地铁减荷领域的应用做了详细的分析,并列举了相关项目的详细设计过程及监测数据结果。从数据上看,该方案有效解决了地铁 1 号线荷载超限及运营安全问题,达到了预期的控制目标。其设计思路及气泡混合轻质土的应用方式可参考,可复制性强,对同类型项目有较好的示范作用,

参考文献:

[1] 叶观宝,刘江婷,张振,饶烽瑞,陈佳祺,张甲峰.循环荷载作用下气泡混合轻质土动强度及预测模型[J].施工技术,2020,49(9): 50-53.

[2] 刘鹏,李祥祥,王文清,李剑锋,赵云奎,李利.地铁上方气泡混合轻质土填筑路基施工技术研究[J].工程建设与设计,2019(21): 45-48.

[3] 李章珍,梁朋涛,董捷,唐浩.干湿循环条件下气泡混合轻质土耐久性的试验研究[J].路基工程,2017(4):109-113.

[4] 蔡力,陈忠平,吴立坚.气泡混合轻质土的主要力学特性及应用综述[J].公路交通科技,2015(12):71-74.

（上接第 193 页）

参考文献:

[1] 段妮娜,王逸贤,王磊,等.我国污泥处理处置主流技术路线的发展概况及制约因素[J].城市道桥与防洪,2019(11):86-89,13.

[2] 胡维杰,周友飞,陈如超,等.石洞口污水处理厂污泥干化焚烧二期工程工艺要点解析[J].中国给水排水,2019,35(16):41-47.

[3] 陈如超.污泥单独干化焚烧与电厂掺烧的综合对比分析[J].城市道桥与防洪,2017(10):88-89.

[4] 唐健,张欢,曹晶,等.市政污泥脱水技术的发展及展望[J].中国资源综合利用,2020,38(8):106-114.

[5] 陈伟楠,刘天顺.低温除湿干化工艺在污水处理厂污泥处置中的可行性研究[J].城市道桥与防洪,2019(4):118-121.