

基于运行经验的污泥焚烧工程优化设计探索

彭吉良

(上海环境集团股份有限公司, 上海市 200336)

摘 要: 基于国内污泥干化焚烧项目实际运行经验, 结合上海市青浦区的污泥特性, 围绕生产安全、运行稳定、经济合理、环境友好等亟待解决的问题, 通过分析生产组织及物流人员交通的合理性、环境治理的可控性、近远期项目运行建设的协调性、污泥输送的可靠性、干化设备运行稳定性及检修便利性、烟气净化工艺先进性、臭气控制治理综合性等方面, 提出了包括优化总平面布局、污泥输送方式、干化机选型、烟气净化工艺确定、臭气综合治理的方案。

关键词: 污泥; 干化焚烧; 优化设计; 烟气净化; 臭气治理

中图分类号: X703

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2022)05-0251-04

1 项目概况

上海市青浦区污泥干化焚烧项目服务于辖区内10座污水厂污泥“减量化、稳定化和无害化”处置, 是长三角一体化进程中生态环境与社会经济和谐发展的示范项目。项目位于上海市青浦工业园天辰路西段北侧地块, 占地约55亩。项目设计规模600 t/d(含水率80%), 分2期建成。1期设计规模为300 t/d(含水率80%), 设施设备按400 t/d能力配置, 生产线2条, 投资约5.45亿元人民币(含土地投资), 预留2期扩建用地。

项目南侧为天辰路(东西走向), 北侧紧贴河岸。项目主要建筑物及设施分布从南往北依次为综合楼、2期建设预留地、1期厂房(含公辅间)、臭气/污水等环保设施。1期厂房西侧为进泥端, 2条干化焚烧线由西向东布置。

项目干化焚烧采用“薄层干化+鼓泡式流化床”处理工艺; 烟气净化选用“炉内脱硫+SNCR(选择性非催化还原)脱硝+静电除尘+干法脱酸+(活性炭喷射)布袋除尘+湿式脱酸”工艺; 臭气治理采用“多级物化法+生物除臭法+活性炭法(应急)”工艺; 脱酸废水及有机废水分别选用“预处理+多介质过滤器”、“2级A/O+外置式MNR+高级氧化”工艺。

烟气、臭气和废水处理, 排放标准分别按上海市《生活垃圾焚烧大气污染物排放标准》(DB

31/768—2013)、《污水综合排放标准》(DB 31/199—2018)、《恶臭(异味)污染物排放标准》(DB 31/1025—2016)执行, 其中烟气排放指标参照“欧盟2010”中较严标准执行。炉渣与一般飞灰外送填埋; 布袋飞灰视检测结果再定性, 若重金属含量不超标, 按一般飞灰处置, 若超出范围, 则经厂内稳定化处理后送指定填埋场处置。

上海市青浦区污泥干化焚烧项目鸟瞰图见图1。

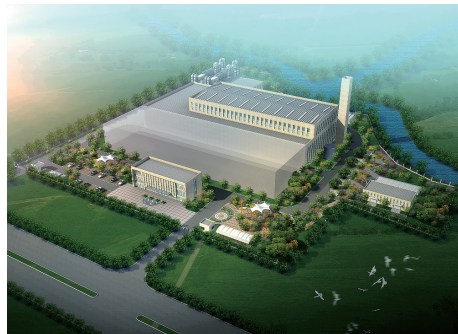


图1 上海市青浦区污泥干化焚烧项目鸟瞰图

2 优化要点

2.1 总平面布局规划设计优化

国内近十多年来开始建设运行市政污泥干化焚烧项目, 由于项目投资高、运行成本高、污泥处置规划不清晰等因素, 建设相对迟缓^[1]。与国内已建同类项目均位于污水厂界内或近邻不同, 本项目建设地址距最近的青浦第二污水厂至少5 km以上, 建设运行具“孤岛”特征。按现行环保政策要求, 项目除建设完备的生产生活设施外, 需独立建造废水、臭气处理等环保治理设施; 地块内建设设施多, 用地紧张。本项目东侧和北侧紧邻河岸, 边界曲折, 不规则边界不利设施

收稿日期: 2021-10-21

作者简介: 彭吉良(1968—), 男, 本科, 高级工程师, 从事水污染及防治污泥处理、处置技术与应用工作。

布局。而且,对于项目运行中环境敏感因子臭气的控制,在总平面布置中需提前规划,以便项目运行管理。

2.1.1 优化敏感气态污染物排放点布局

运行中产生的臭气、烟气为项目最主要气态污染物排放物。本项目需收集外排臭气(中低浓度)总量约 $8\sim 10$ 万 m^3/h ,排放高度 $H\geq 15$ m;烟气排放量(工况状态)约 $2.5\sim 3$ 万 m^3/h ,排放高度 $H\geq 60$ m。根据上海市及国内同类项目的运行情况,臭气为最敏感污染因素之一。本项目选择气量大、排放高度低的臭气产生区域及排放点,置于本地块西边偏北方向,即常年主导风下风向。同时,结合厂界北侧不规则现状,将占地相对小、运行中有臭气散发的废水处理设施优先布置于北侧偏西方向,以减轻生产过程对厂区自身环境的影响。此外,将人流进出通道、宿舍区、办公楼在条件许可的前提下,尽量处于常年主导风向上方,远离厂内环境最敏感因子,避免臭气因素对人员的侵扰。

2.1.2 优化物料转运组织和管线布局

根据本项目地块特点,综合考虑生产和生活设施之间的位置关系,将主厂房布置在地块中部,南侧布置厂前区(综合楼),北侧和东侧边界不规则区域布置生产辅助设施,通过流线优化,优化管线布置,缩短管线长度,实现减少管网投资、降低动力消耗、提高物料输送可靠性的目标。其中,中低浓度臭气集中散发区与臭气净化设施做到最近距离布置,将输送总管道长度缩短至 40 m 以内。

2.1.3 统筹运行安全和近远期用地布局

近远期平面布置方案优选示意图见图 2。

本项目分 2 期建设,根据 1 期工程平面布局,2 期预留地块可置于 1 期厂房南侧与综合楼之间(方案一),或置于 1 期厂房北侧与环保设施之间(方案二)。如 2 期预留地块置于 1 期车间北侧,地块上已建的各类管线设施将限制 2 期施工和作业面的拓宽,并对 1 期生产设施的正常运行带来安全隐患。而将 2 期预留用地置于 1 期车间南侧,尽管 2 期施工期间对办公区短期影响较大,但对 1 期生产安全稳定进行和 2 期的进度推进、安全施工创造了较好的作业空间和条件。此外,在 2 期实施前,该预留地块绿化后,可成为办公生活区与 1 期生产区的缓冲隔离地带,提高人员工作环境质量。

2.2 污泥干化设备选型优化

根据国内污泥泥性的调查分析,结合热量平衡计算,发现当湿污泥干化至含水率 $50\%\sim 60\%$ 时,呈



(a)方案一:2期置于1期厂房南侧与综合楼之间



(b)方案二:2期置于1期厂房北侧与环保设施之间

图2 近远期平面布置方案优选示意图

半干化状态污泥的低位热值提高后可自持燃烧,能实现能量利用率最高和经济性最优状态^[2-3]。项目湿污泥(含水率 80%)对应的低位热值低于 544 kJ/kg ,需通过半干化至含水率约 55%,将污泥热值上升至 $6\,069\text{ kJ/kg}$ 后,才能实现污泥自持燃烧。但是,由于污泥黏滞性随含水率变化呈突变特征,即当污泥含水率低于 $45\%\sim 50\%$ 或高于 $60\%\sim 65\%$ 时,污泥黏滞系数将显著降低,物料流动性增强^[4-5];而当污泥含水率处于 $50\%\sim 60\%$ 半干状态时,污泥黏滞性显著增强,物料在输送过程中极易黏附并积聚在输送设备内腔和活动叶片或转子表面,降低输送设备的输送能力,严重时堵塞输送设备,中断污泥物料的输送,导致后续焚烧系统无法正常运行。

目前,国内项目中桨叶式、圆盘式、薄层干化机等为污泥干化焚烧项目的主要选择。与桨叶式、圆盘式等干化机换热面更新和污泥轴向推送方式不同,薄层干化机通过转子离心抛撒污泥于外筒内壁,并轴向推进将附着于内侧壁的污泥翻混摊铺成薄饼,从而提高热传递效率,加速污泥干化过程。在污泥干化过程中,污泥始终处于不断抛撒、摊薄、翻混、剥落的循环状态中,干化进程中松散态污泥能稳定通过污泥黏滞区,避免污泥在干化设备中黏滞现象的发生。结合干化机高程布置规划、干化污泥进炉距离最短化布置、处理规模以及设备匹配的合理考虑,本项

目干化设备选择薄层干化机,处理能力 $4 \times 120 \text{ t/h}$ (含水率 80%),蒸发能力 $4 \times 2 \text{ t/h}$ 。

2.3 半干污泥输送系统优化

半干化污泥因其高黏滞特性,输送异常困难。国内现已建成的污泥干化焚烧项目除成都、赤峰项目外,其余项目都采用“后混”进炉焚烧工艺,将部分湿污泥含固率由 20%(含水率 80%)提高到 70%以上,这部分干化污泥再采用水平与垂直组合干泥输送装置送至焚烧炉前,与另一部分未干化的湿污泥(含水率 80%/含固率 20%)混合后进炉焚烧,即保证进炉污泥热值趋于自持燃烧热值,以达到热能最佳利用状态。

2.3.1 “后混”工艺污泥输送问题

选择“后混”进炉焚烧工艺,干化机一般水平布置在炉前,形成干化车间+焚烧车间前后布置的格局。在日常运行中,干污泥输送系统不仅会增大输送动力能耗,从而增加维修工作和管理成本,而且因输送通道密封材料的老化、损坏等因素,沿线臭气扩散不可避免所引发的臭气环境问题,给项目生产运行环境的改善带来较大负面影响。目前,国内已建项目中,特别是早期建设的污泥项目,因干物料输送不稳定及衍生的臭气问题,既给安全生产带来隐患,也给操作人员带来较大的环境压力。因此,提高干化污泥输送的稳定性、控制输送环节的臭气治理,已成为同类项目优先技改的重点内容^[6-7]。

2.3.2 利用垂直空间缩短输送距离

基于上海市青浦区污泥特性,对污泥自持燃烧所对应的半干化污泥状态评估及热值测算,借鉴赤峰项目并吸取其他项目的经验教训,将污泥半干化段与焚烧段的水平向布置优化为上下错层高低布置;同时,将污泥多级提升入炉的工艺流程改变为一次提升后利用重力惯性进炉前仓的入炉方式,充分利用焚烧车间约 24 m 垂直空间以缩短输送距离,从而突破污泥黏滞特性对污泥输送的障碍,简化污泥流程,减少输送系统的设备台套数量,提高输送效能,降低输送能耗和检修维护成本,避免“后混”工艺的诸多运行顽疾。具体措施为将干化机布置于焚烧主车间 12.5 m 平台,半干化污泥利用重力,自由跌落至下方平台的半干污泥缓冲仓,再依靠短距离水平输送,经抛料机均匀抛洒至焚烧炉焚烧。

污泥垂直输送示意图见图 3。

2.3.3 污泥输送系统臭气控制优化

通过干化段与焚烧段高低错位的布置、缩短污泥输送距离、将污泥输送过程全程置于可靠的密闭

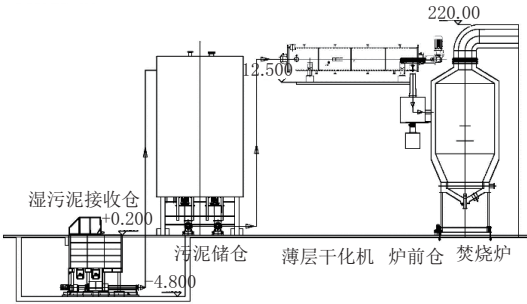


图 3 污泥垂直输送示意图(单位:m)

管道和腔体内完成、污泥干化段至炉前料仓段全密封;同时,利用干化设备抽吸不凝气的引风机,维持输送段、炉前仓负压,其过程产生的高浓度臭气全部通过风机引导,有组织地送入炉内燃烧,可彻底解决原有水平布置工艺输送污泥过程产生的臭气问题。

2.4 烟气脱硫工艺优化

烟气脱硫工艺主要包括炉内脱硫、干法脱硫、半干法脱硫、湿法脱硫等工艺。除香港 T-PARK 污泥焚烧项目采用干法脱硫工艺外,国内同类型项目基本采用半干法脱硫、湿法脱硫工艺。湿法脱硫工艺成熟稳定、去除效率高,较半干法脱硫操作简单,独立采用可达排放标准;同时,国内同类项目的选址均位于污水厂界内或紧邻污水厂,按现行规定废水可准许直排,节约了脱盐废水处理及分离杂质盐处置成本,因此应用更为普遍^[8]。

本项目的污泥含硫率相对较高,焚烧后产生的烟气 SO_2 源强浓度可高达 $3\ 500 \text{ mg/L}$ 以上。若选用湿法脱硫工艺净化烟气,则因“孤岛”建设运行不具备废水直排条件,废水设施投资及处理成本较大;同时,按上海市纳管标准,废水盐度将至少超标 20 倍以上。因此,本项目通过炉内石灰石脱硫、小苏打干法脱硫组合工艺来净化烟气,以实现烟气治理的达标排放,避免高盐浓度废水产生。由于污泥源于 10 座污水厂,污泥性质较复杂,其中的含硫量存在高于设计值的可能。在极端高含硫污泥焚烧工况下,为满足日益严格的环保监管要求,净化系统末端增设湿法脱硫装置,利用其低烟气浓度下的高脱硫特性,与前端“炉内脱硫+小苏打干法脱硫”联用,可确保烟气排放值 100% 满足排放标准。

2.5 除臭控制措施优化设计

臭气是困扰污泥干化焚烧项目高效运行的重要因素之一。本项目基于臭气浓度高低进行分质控制处理来提升治理效果及运行灵活性,将高浓度、中低浓度臭气从散发点负压密闭、臭气收集、臭气处理三个方面进行优化综合治理。具体而言,根据进炉总风

量及1次配风和2次配风的比例关系,将污泥接收仓、储仓、干化机等产生的高浓度低气量臭气,分别由1次风机和干化机不凝气风机引入焚烧炉燃尽。该部分高浓度臭气占项目臭气污染当量50%以上,将其引入炉内燃烧净化,不仅降低了臭气处理系统投资及运行成本,而且大幅度减少了末端臭气处理负荷。

同时,依据中低浓度臭气散发区域空间特征,对相关散发空间进行科学分割,以减少不必要的换气空间,降低每个隔断空间的单次换气量,并根据不同臭气浓度及不同运行工况条件,借助各隔断空间收集支管上设置的电动调节阀,实现不同散发空间换气总量的差异性控制,从而达到项目中低浓度臭气净化的最优化运行和净化效果。通过最优气量和灵活可控的组织方式,中低浓度臭气量从最初测算量约20万 m^3/h 降至9万 m^3/h ,大幅度降低了臭气治理投资及运行成本。此外,在卸料车间等臭气浓度相对高、人员工作频次多的重点区域,增加植物液喷淋除臭设备,以改善作业工作环境。

3 结 语

(1)借鉴已建项目运行经验,优化总平面规划设计,对提高项目建设水平和运行管理效能切实有效。基于环境影响敏感因子分析,优化敏感气态污染物排放点布局,结合生产工艺布置特点,统筹1、2期生

产建设关系,实现科学合理的平面布置,提升项目环境治理能力、改善环境质量,同时降低工程投资,减少运行成本。

(2)从生产实践出发,优化污泥干化、输送、烟气脱硫等关键工艺和关键设备选型,实现技术创新和工艺可靠的具体结合,在高效运行的同时,践行“节能减排”、“绿色环保”。项目重视生产运行经验,通过识别臭气源、区隔臭气产生空间、分质臭气处理的方式,对降低臭气处理系统投资、提高厂区臭气治理效果、提高厂区大气环境,具有积极意义。

参考文献:

- [1] 刘宇佳,赵旭东.污泥干化焚烧技术进展及我国典型工程概况[J].中国环保产业,2019(2):55-59.
- [2] 段妮娜,谭学军,张辰.污水处理厂污泥独立焚烧的热力计算方法解析[J].中国给水排水,2021,37(16):83-88.
- [3] 陈少卿,王飞,池涌,等.污泥干燥焚烧工程系统质能平衡分析[J].环境工程学报,2017,11(1):515-521.
- [4] 王磊.市政污泥脱水干化及粘滞特性变化规律研究[D].上海:东华大学,2018.
- [5] 梅静.污泥粘滞特性的宏观表征和降粘研究[D].上海:东华大学,2017.
- [6] 陈文迪.污泥在流化床内的燃烧特性及高效焚烧处理处置研究[D].杭州:浙江大学,2019.
- [7] 朱小玲.竹园污泥干化焚烧厂运行技术优化研究[D].杭州:浙江大学,2012.
- [8] 孙中涛,刘露.垃圾焚烧烟气脱酸工艺选择及应用[J].环境卫生工程,2018(12):93-96.

~~~~~  
(上接第236页)

过选择良好的围岩和加强基坑回填处理,以减少地震动作用对结构受力和变形的影响。

(4)波纹钢综合管廊结构在本文研究工况的地震作用下最不利受力与变形位置主要在结构右上节点和左下节点位置关键节点部位。因此,地震作用下,需注意该处节点变形量,避免变形过大而造成结构破坏。

#### 参考文献:

- [1] 张勇.广州猎德污水处理厂波纹钢板地下管廊的设计和施工[J].广州大学学报(综合版),2001,15(11):60-63.
- [2] 赵灵吟,黄鹏,刘智勇.地下综合管廊结构的抗震分析[J].水电站设计,2020,36(2):37-41.
- [3] 王海.覆土波纹钢桥涵抗震分析方法和抗震性能研究[D].北京:北京交通大学,2017.
- [4] GB 50111—2006(2009年版),铁路工程抗震设计规范[S].

- [5] GB 50909—2014,城市轨道交通结构抗震设计规范[S].
- [6] 杨佳春.地下综合管廊结构标准断的抗震分析[J].山西建筑,2019,45(3):44-46.
- [7] 刘晶波,王文晖,赵冬冬,等.地下结构抗震分析的整体式反应位移法[J].岩石力学与工程学报,2013,32(8):1618-1624.
- [8] 周剑敏.矩形波纹钢地下综合管廊结构受力特征分析[J].城市道桥与防洪,2020(7):306-310,313.
- [9] 刘晶波,王文晖,张小波,等.地下结构横断面地震反应分析的反应位移法研究[J].岩石力学与工程学报,2013,32(1):161-167.
- [10] 刘晶波,王文晖,赵冬冬,等.复杂断面地下结构地震反应分析的整体反应位移法[J].土木工程学报,2014,47(1):134-142.
- [11] 刘晶波,王东洋,谭辉,等.整体式反应位移法的理论推导及一致性证明[J].土木工程学报,2017,52(8):18-23.
- [12] 朱昱瞳.整体强制反应位移法的改进及在盾构隧道抗震中的应用[D].天津:天津大学,2019.
- [13] GB/T 51336—2018,地下结构抗震设计标准[S].
- [14] GB/T 34567—2017,冷弯波纹钢管[S].