

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.06.021

# 城市生活污水污泥干化焚烧工程调试与试运行

刘 勇

(北京京城环保股份有限公司, 北京 100027)

**摘 要:** 对城市生活污水污泥干化焚烧处理工程的调试及试运行中设备产生的一系列问题进行了归纳和总结,阐述了各调试阶段的目的、步骤和要求,对在负荷调试及试运行中产生的设备故障包括选型、结构以及存在缺陷进行了分析,提出了解决方法并用于实际整改。比较整改纠偏前后统计的运行数据,发现在烟气中的氮氧化物排放指标、锅炉炉顶温度、锅炉出口氧含量以及日处理量的数据有明显的改善,整改纠偏对项目的稳定运行和烟气达标起到了显著的作用。

**关键词:** 污泥干化; 焚烧; 调试; 试运行; 纠偏

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2021)06-0117-06

## Commissioning and Trial Operation of a Municipal Sludge Drying and Incineration Project

LIU Yong

(Beijing Jingcheng Environmental Protection Co. Ltd., Beijing 100027, China)

**Abstract:** A series of equipment problems during commissioning and trial operation of a municipal sludge drying and incineration treatment project are summarized. The purpose, steps and requirements of each commissioning stage are explained. The equipment failures including selection, structure, and defects during load commissioning and trial operation are analyzed, and solutions are proposed and used in actual modification. By comparing the statistical operation data before and after modification, it is found that the exhaust nitrogen oxide emissions, boiler top temperature, boiler outlet oxygen content, and daily processing capacity have been significantly improved. The modification has played a significant role in the stable operation of the project and meeting the flue gas standards.

**Key words:** sludge drying; incineration; commissioning; trial operation; modification

城市生活污水污泥的处理要求遵从“减量化、无害化、稳定化和资源化”4个原则,污泥焚烧过程中产生的热能可以用来发电,自产蒸汽循环用于污泥干化,焚烧后的灰烬用于制作瓷砖、地面砖、水泥调和料等。以北京京城环保股份有限公司承建的污泥干化焚烧工程 EPC 总承包项目,包括温州市 240 t/d 污泥集中干化焚烧工程、上海竹园 750 t/d 污泥干化焚烧处理工程(脱水污泥含水率均约为 80%)等为例,对全系统的单机调试、子系统调试、负荷联动调试、试运行以及故障现象处理等分别进行介绍。

### 1 工艺流程

某项目采用污泥半干化后进行焚烧及烟气净化工艺,主要投入的设备是桨叶式干燥机+回旋流型流化床。工艺流程见图 1。整个污泥干化焚烧分为两条线,分别由污泥储存输送系统、干化系统、焚烧炉砂循环系统、燃烧空气系统、余热锅炉给水系统、余热利用系统、炉内脱硝系统、烟气净化系统、冷却水供应系统、供油系统、煤输送系统、飞灰输送系统、压缩空气供给系统、中水处理系统、石灰浆液储备和臭气处理装置组成。

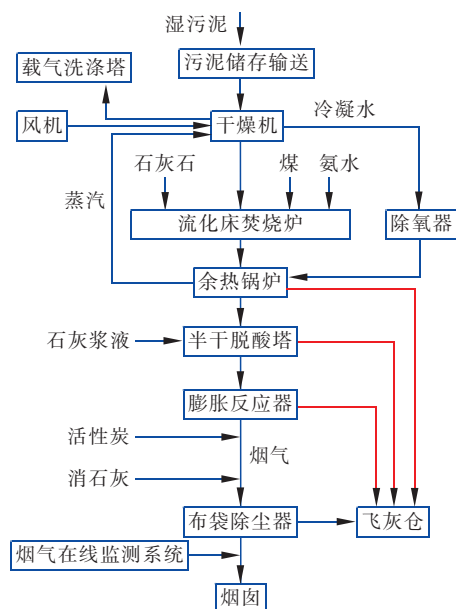


图1 污泥焚烧及烟气净化工艺流程

Fig. 1 Flow chart of sludge incineration and flue gas purification

## 2 调试分类及步骤

根据工艺流程、设备运行特点及自动化动作逻辑顺序<sup>[1]</sup>,编制单机调试、联动调试、热态带载调试及试运行。

### 2.1 单机调试

① 首先了解单机在工艺过程中的作用。

② 阅读使用说明书,检查安装是否符合要求,机座是否牢固。

③ 按说明书要求,加注润滑油(润滑脂)至油标指示位置。

④ 确认各电机转向正确。

⑤ 合闸运转,若出现卡阻异响则马上停止,查找原因,排除后检查电流是否在规定范围内、检查减速箱和轴承温度,单机连续空载运转不少于2 h。

### 2.2 子系统调试及联动调试

子系统指公辅子系统,如:压缩空气供给系统、冷却水供应系统、中水处理系统、焚烧炉砂循环系统等。联动调试,又称联合动作调试,是指同一条线上的一系列运转设备的启停动作,测试电气控制逻辑动作执行情况。启动时遵循先末端后首端、停止时先首端后末端的原则。

### 2.3 烘炉、煮炉及管道扫线

准备工作:将安全阀、压力表送锅检所、质监局检验;根据《锅炉安装工程施工及验收规范》(GB

50273—2009)编制烘炉、煮炉计划,蒸汽管道及仪表风管道扫线方案。

#### 2.3.1 烘炉

新装锅炉,在炉墙材料及砌筑过程中吸收大量水分,如与高温烟气接触,则炉墙中含有的水分因为温差过大,急剧蒸发,产生大量蒸汽,使炉墙变形、开裂,所以必须对炉墙进行缓慢烘炉,使炉墙中的水分缓慢逸出,确保炉墙热态运行质量。烘炉煮炉的操作流程、烘炉曲线、加药规定、炉水化验等细则按有关规范执行。

#### 2.3.2 煮炉

新安装的锅炉受热面管系、锅筒内壁上的锈斑、油污等,若在投运前不处理,就会附着在管壁上形成硬附着物,影响热交换,危及锅炉的安全。煮炉结束后,打开人孔检查,要求锅炉内壁无残渣、无锈蚀和油污,并有一层磷酸钠盐保护膜形成。

#### 2.3.3 蒸汽管道扫线

目的:去除施工中产生的焊渣、锈斑以及滑动支架吊架的变形情况。管道吹扫按《工业金属管道施工及验收规范》(GB 50235—2010)执行。

操作流程:必须先充分暖管,并注意疏水阀排尽冷凝水,防止发生水击(水锤)现象,在第一次通蒸汽暖管时,特别注意检查管线的热膨胀、管道的滑动、滑动支吊架等的变形是否正常。暖管应缓慢进行,即先向管道内缓慢地送入少量蒸汽,对管道进行预热,当吹扫管段首端和末端温度相近时,方可逐渐增大蒸汽流量至需要值进行吹扫并进行反复打靶测验,靶板上的冲击斑痕不多于10点,每点不大于1 mm。

#### 2.3.4 压缩空气仪表风管道扫线

目的:将系统中的污物、泥沙、焊渣、铁锈在投运前彻底吹扫干净,为自动化仪表中的气动阀、流量计等提供纯净度较高的气动动力。

操作流程:仪表管道吹扫宜与工艺管道系统同步进行,最好用无油空气压缩机自备气源进行吹扫;仪表管道吹扫应先工艺管线,后仪表管线;先主管线,后支管线;仪表风管道系统吹扫过程中,当目测无烟尘时,在排气口放置靶板检验;5 min内靶板上无铁锈、尘土、水分及其他杂物为合格。

### 2.4 热态带载调试

#### 2.4.1 停电预案

验证并确认焚烧炉遭遇突然停电时,炉内热量

迅速排放方法的可靠性,验证并确认断电状态下锅筒补水泵的工作可靠性。在断电状态下,锅筒给水由蒸汽往复泵承担,这是将蒸汽机和水泵两部分由活塞杆连为一体的一种给水设备,因涉及到锅炉运行的安全性,其运行可靠性非常重要。在模拟停电状态下,在不同时间段进行了两次调试,出现两种故障:其一是启动后出现振动异响泵不出水,经过分析发现是活塞杆处于中间位置,蒸汽进气门不能完全打开,且活塞冲程距离过长,重新调节活塞位置和冲程后问题得以解决;其二是泵不出水,找到原因是气缸内存有积水,打开放水阀排出积水后恢复正常。

#### 2.4.2 带载调试与性能考核

检验和考核单机设备(或单元)或整个生产线系统,在投入各种生产物资、物料时,公辅系统、进泥、干泥的产量、锅炉出力和蒸汽压力能否满足工艺要求;烟气排放各种指标是否达到国标要求;考察控制系统包括 DCS 和 PLC 等系统的逻辑动作执行的可靠性;检查工业自动化控制中涉及的单体仪表和控制系统的内在技术性能是否符合规范或设计规定,是否满足工厂正常运行应达到的自动化程度。

性能考核是对整个工艺路线、设备运行、焚烧炉工作状态,干燥机工作状态、自动化控制、污泥处理量的达产和烟气排放达标程度在合同约定时间内的一次过程检验。

### 3 试运行及故障纠偏

在全系统热负荷带载试运行期间,正常情况下,全系统运行的品质一般不可能直接达到所有设计要求,烟气排放也不可能直接达到国家标准,势必会出现一些缺陷及故障现象,直接影响项目产能及烟气排放的各种指标,为此,总包方会同建设方对试运行中出现的设备问题进行了整改纠偏。以下着重介绍在热负荷带载试运行中出现的几种故障现象及整改纠偏措施。

#### 3.1 抛煤机

抛煤机改造示意图 2。

图 2(a)是改造前的抛煤机,随同流化床焚烧炉的供应商供货,经过带载热负荷使用,会出现机体红热、抛煤机水冷夹套漏水,冷却水不可避免地流入炉内,威胁着焚烧炉的正常使用。后来分析原因是抛煤机的水冷夹套材质为灰口铸铁,受高热后产生铸铁独有的热生长现象,导致材料的内部组织、力学性能及外部尺寸都发生变化,会使铸件出现不可逆的

体积膨胀,热生长导致转筒上的桨叶与水冷夹套内侧的间隙减小,尺寸稍大的煤块在此停留,不断挤压水冷夹套内壁,导致夹套磨穿。

改进:设计风冷溜槽装置见图 2(b),溜槽角度大于煤的安息角,装置材质选用耐热不锈钢,采用二次风风冷设计,改进后故障现象消失<sup>[2]</sup>。

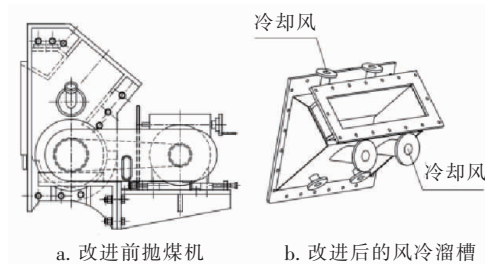


图 2 抛煤机改造

Fig. 2 Coal feeder transformation

#### 3.2 干污泥提升机频繁卡阻

从干燥机出来的含水率在 30% ~ 35% 半干污泥,需要提升至高约 6 m 的焚烧炉进料仓,原来采用埋刮板提升机,运行中经常发生黏性泥淤堵在链板、刮板处,导致卡死停机。进料口结构如图 3(a)所示,含水率在 30% ~ 35% 的半干污泥在落入料槽过程中,下落的团状半干污泥会受到相向而行的工作行程刮板和回程刮板的剪切,处于工作行程中的刮板底部会对料槽中的半干污泥产生挤压剪切,破坏了泥团外干内黏的结构,使得内部黏性污泥外露,在输送过程中对设备运转部件产生黏糊。同理,进炉前输送半干污泥的螺旋输送机也因螺旋叶片和槽体之间对污泥的挤压产生同样故障现象,也给污泥输送带来很大阻碍。

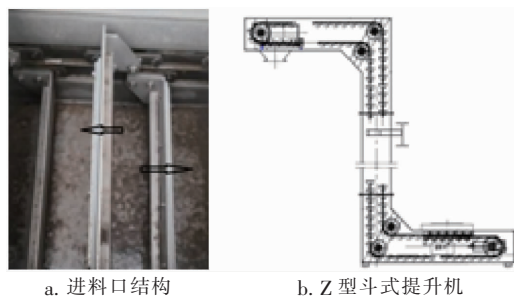


图 3 干污泥输送装置对比

Fig. 3 Comparison of dry sludge conveying device

改进:按照半干污泥在输送过程中其形状不被破坏的逻辑,采用 Z 型斗式提升机替换埋刮板输送机,见图 3(b)。采用振动给料机替换螺旋输送机后故障现象消失。



### 3.3 炉膛温度低,余热锅炉出口氧超标

半干污泥输送进炉前漏气量大,过量空气伴随半干污泥进入炉膛,导致氧化锆氧量分析仪氧含量超标,数值大于10%,炉顶温度达不到《生活垃圾焚烧污染控制标准》(GB 18485—2014)要求的850℃。经过仔细排查,发现干污泥在输送密封环节出现问题,空气随污泥进入炉内,后来在干污泥进炉前加入双门锁风翻板阀,将空气在进炉前隔离,由于无需将炉内过量空气加热,燃料热值得到充分利用,氧含量及炉顶温度达到要求值。

### 3.4 循环载气进口温度低,半干泥产量低

干燥机制气循环利用,载气经过除尘洗涤后由离心风机送往干燥机制气进口,其中有一节长约22m的载气管道外表未做保温,此段载气与干燥机出口载气的温度形成较大温降,循环载气所携带的冷凝水析出,流入干燥机内消耗设备热量并降低了干燥机正常运行所需的环境温度,使得干泥含水率及产量受到较大影响。

改进:在载气管道外制作保温夹套,引入经过减压的除氧器外排蒸汽,提升载气温度,恢复循环载气携水能力,经过纠偏改造后,干燥机的产量达标。

### 3.5 桨叶磨损及对策

污泥含砂,不同地区生活污水中的砂含量相异<sup>[3]</sup>,砂的主要成分是二氧化硅,其莫氏硬度为7,不锈钢的莫氏硬度为5。不锈钢材质的桨叶在持续运转中遭泥砂磨损使板厚逐渐减薄,在污泥含砂量较高的地区,桨叶磨损周期会更短。桨叶的表面硬化处理效果越好,桨叶的使用寿命就越长。超音速碳化钨火焰喷涂技术(HVAF)以其涂层致密、耐磨性好、与基体结合强度高特点广泛用于提高桨叶表层硬度及耐磨性,碳化钨涂层厚度一般为50~200 μm,涂层硬度可达1 200 HV<sub>0.3</sub>以上。

目前市场上碳化钨喷涂粉末生产商众多,品牌也不尽相同,大致有WC-10Co4Cr、WC-27NiCr、WC-12Co、WC-17Co等不同型号。不同的粉末有不同的涂层性能表现<sup>[4]</sup>,包括显微硬度、结合强度、孔隙率、表面粗糙度,可根据污泥的含砂量来选择对应的粉末品牌及涂层厚度。随着设备工作年限的延长,即便是喷涂过的桨叶,最终也需要整体更换。

#### 3.5.1 碳化钨粉的种类和性能对比

上述4种碳化钨粉末,根据调研结果存在如下关系:抗腐蚀性能,WC-10Co4Cr > WC-27NiCr >

WC-12Co > WC-17Co;热腐蚀性能(600℃),WC-27NiCr > WC-17Co > WC-12Co > WC-10Co4Cr;结合强度,WC-10Co4Cr > WC-17Co > WC-27NiCr > WC-12Co;显微硬度,WC-10Co4Cr > WC-12Co > WC-17Co > WC-27NiCr。

碳化钨粉采用团聚烧结工艺制成,微观形状为颗粒状,其粒度为15~45 μm,Co、Ni、Cr元素含量的不同会影响涂层的韧性、结合强度、硬度和耐磨性。涂层的各项技术指标存在相互依赖相互制约关系,涂层越厚并非意味涂层使用寿命越长,如涂层>200 μm,喷涂时颗粒熔融产生的拉应力较大,易出现裂纹,因此结合强度不如涂层相对较薄者。涂层结合强度≥70 MPa、0.5% < 孔隙率 < 1%、显微硬度≥1 200 HV<sub>0.3</sub>是一种良好的性能表现。

#### 3.5.2 涂层厚度与成本造价

碳化钨粉末有进口(主产地美国)与国产的区分,价格迥异,涂层厚度同为100 μm,进口价格约13 000~15 000元/m<sup>2</sup>,国产价格约7 800~9 000元/m<sup>2</sup>。

不同涂层厚度与价格的关系见图4。

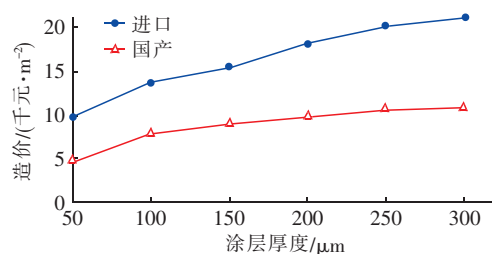


图4 涂层厚度与造价

Fig. 4 Relationship between coating thickness and price

对桨叶表面赋予碳化钨涂层可延长其使用寿命,但价格不菲,对桨叶是否实施碳化钨涂层喷涂,应根据建设项目的具体条件和要求来决定。

### 3.6 人机工程学原理在设备布局及安装中的体现

有的项目中曾出现过部分设备布局过分集中、设备的某一部分占据行走过道、阀门安装位置过高不利于操作;阀体及紧固件的安装小于维修拆卸所需的最小空间、现场仪表的安装位置未顾及人的视角;有些设备安装在地平层和第二层之间,由于空间高度不够,操作人员无法站立操作;减速机等润滑油添加口和排放口方向不对导致人员操作困难等;不符合人机工程学的现象,有些可以在后期进行纠正,有些则无法进行纠正。这些都应在项目前期设计和后期安装时有所顾及。

此外,锥形料斗的锥形角度设计不当会导致物料架桥、运送颗粒物料的管道及溜槽角度要大于物料的安息角,湿泥输送采用单级设备比多级设备可靠性好。

#### 4 整改前后主要工艺数据及产能比较

每项整改纠偏都在污泥处理量的提高、烟气排放达标方面有直接体现,随着设备故障减少,停机率大幅下降,处理量得到明显提升(见图 5)。

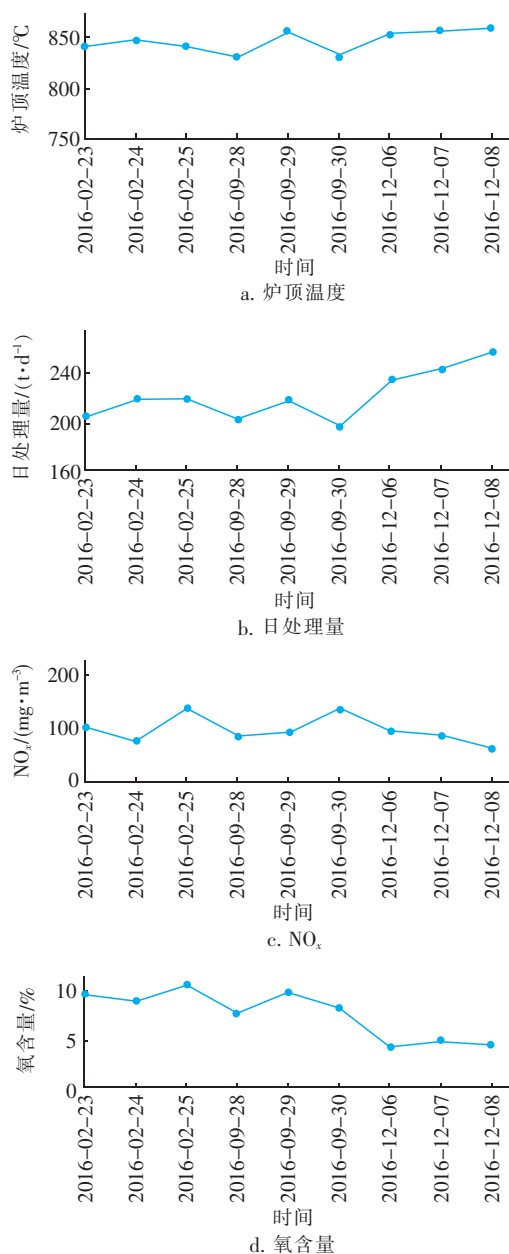


图 5 炉顶温度、日处理量、氮氧化物、氧含量的变化

Fig. 5 Change of incinerator temperature, daily treatment capacity, nitrogen oxides and oxygen content

2016 年 10 月前为整改前现场记录数据,2016 年 12 月后为整改后的现场记录数据。

#### 5 结语

污泥干化焚烧工程的工艺线路确定后,各类设备的选型配置就是关键。调试工序可以检验设备自身的可靠性和稳定性,确认并纠正全线路自动化运行所需要的联锁、互锁、延时的逻辑关系和自动化仪表的工作可靠性。一套成熟的污泥干化焚烧工艺确定后,设备的正确选型和重视不同阶段不同内容的调试能为工程项目的顺利完工提供较大程度的保证。热负荷运行中的各种潜在问题会在试运行阶段暴露,对症下药便可实现纠偏。

① 明确各步调试目的和操作流程,应急预案需进行实际操作;

② 把控干污泥进炉的输送环节,避免空气伴随污泥进入炉内;

③ 针对半干污泥内黏外干的特性,选用不破坏污泥泥团形状的输送设备;

④ 对于可自行滑动的颗粒性干物料,如流化床床砂、颗粒煤等,需做试验得到管道或溜槽的角度,以防将管道淤塞或造成堆积;

⑤ 干燥机循环载气经过洗涤后恢复回程载气管道温度;

⑥ 建议根据项目的具体条件和要求决定是否对桨叶进行碳化钨涂层喷涂,并对涂层结果进行第三方检测。

#### 参考文献:

- [1] 林莉峰,王丽花. 上海市竹园污泥干化焚烧工程设计及试运行总结[J]. 给水排水,2017,43(1):15-20.  
LIN Lifeng, WANG Lihua. Summary of design & trial operation of Shanghai Zhuyuan sludge drying and incineration project [J]. Water & Wastewater Engineering,2017,43(1):15-20 (in Chinese).
- [2] 李文兴,郑秋鹃,廖建胜,等. 温州市污泥干化焚烧处理工程技术改造[J]. 中国给水排水,2017,33(2):90-95.  
LI Wenxing, ZHENG Qiujuan, LIAO Jiansheng, et al. Technical transformation of sludge drying and incineration treatment project in Wenzhou City [J]. China Water & Wastewater,2017,33(2):90-95 (in Chinese).
- [3] 王建伟,廖足良. 典型城市污水处理厂污泥无机质含

(下转第 127 页)