

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.10.024

基于鼓泡流化床的污泥焚烧保护控制

应基光¹, 林莉峰¹, 邵 钦²

(1. 上海市市政工程设计研究总院<集团>有限公司, 上海 200092; 2. 上海市城市排水有限公司, 上海 200092)

摘 要: 污泥焚烧作为目前污水处理厂后期产物污泥的一种主流处理工艺,可实现污泥最彻底的减量化。污泥焚烧工艺复杂,涉及人身、设备和环境等多方面的安全性,其焚烧系统的保护控制尤为重要。以白龙港污泥处理处置二期工程鼓泡流化床污泥焚烧炉的保护控制为研究对象,对其主要的保护控制进行分析和总结,建立了几大保护逻辑关系,提出了合理的保护控制优化建议,并通过调试来验证相关保护定值的合理性,以期提高污泥焚烧系统的运行安全性和可靠性。

关键词: 污泥焚烧; 鼓泡流化床; 保护控制; 逻辑联锁

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2021)10-0133-05

Protection Control of Sludge Incineration Based on Bubbling Fluidized Bed

YING Ji-guang¹, LIN Li-feng¹, SHAO Qin²

(1. Shanghai Municipal Engineering Design Institute <Group> Co. Ltd., Shanghai 200092, China; 2. Shanghai Municipal Sewerage Co. Ltd., Shanghai 200092, China)

Abstract: Incineration is widely used for treating sewage sludge because of its considerable reduction in volume. Sludge incineration is complex and involves the safety of equipment, life, and also environment, which make the protection control of the incineration system especially important. The protection control of the bubbling fluidized bed (BFB) boiler in Bailonggang sludge treatment and disposal phase II project is introduced including analysis of the protection control principle, establishment of several logic relationship and proposal of some reasonable suggestions. Meanwhile, the reasonability of default values was verified by commissioning, so as to improve the safety and reliability of the sludge incineration system.

Key words: sludge incineration; bubbling fluidized bed; protection control; logic interlock

20 世纪 60 年代,欧美以及日本等发达国家开始对污泥焚烧的处理方式进行研究和工程性实践。20 世纪 90 年代起,各国开始将焚烧作为处理污泥的主要方法之一^[1]。与国外相比,国内的污泥焚烧项目起步较晚,直到近几年,国内污泥焚烧项目越来越多,污泥焚烧技术得到了快速的发展。上海地区

已经建成的有石洞口污泥干化焚烧项目、竹园污泥干化焚烧项目^[2],已进入调试阶段的有白龙港污泥二期干化焚烧项目、石洞口污泥二期干化焚烧项目。

随着工业自动化技术的不断发展,运行控制系统(DCS)也在不断的改进,其在污泥焚烧控制系统中的应用使得污泥焚烧的自动化控制得到了大幅提

基金项目: 上海市国际科技合作基金资助项目(19230730900)

通信作者: 应基光 E-mail: yingjiguang@semedi.com

高,为该技术路线的推广和应用创造了条件。污泥焚烧流化床的保护控制有其特殊性,因此对其进行研究具有必要性。以白龙港污泥二期鼓泡流化床焚烧炉为研究对象,着重对鼓泡流化床焚烧炉的保护控制原理、整体的框架和主要设备的保护控制进行了介绍,提出了保护控制优化建议,可为同类项目提供参考。

1 总体工艺设计

污泥处理采用离心脱水+流化床干化+鼓泡流化床焚烧炉+烟气处理的工艺方案,工艺处理流程图见图1。

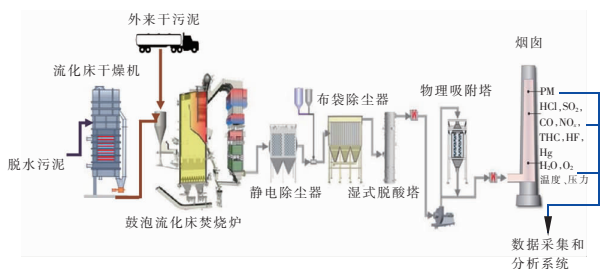


图1 白龙港污泥二期工艺处理流程

Fig.1 Flow chart of sludge treatment process of Bailonggang sludge phase II project

整个项目可分为3个独立的单元,每个单元设有5条脱水线、3条干化线和2条焚烧线。污水处理产生的浓缩污泥经过脱水系统,含水率降至80%以下。部分脱水污泥经过流化床干燥机,将含水率降至10%以下,进入焚烧炉前干污泥料仓。鼓泡流化床焚烧炉设计入炉的污泥干燥基高位热值设计范围为9.59~18.34 MJ/kg,干化污泥、脱水污泥以及部分外来半干污泥(含水率30%~40%)入炉混合,混合后的平均含水率为32%~67%,对应每台焚烧炉的设计处理能力 ≥ 100 tDS/d。

2 控制系统

目前对于焚烧炉控制技术的研究和发展已经很多,但是污泥焚烧系统的控制与其他行业有较大区别。一方面是由于污泥本身含水率、热值等性质变化大,不像煤炭或者天然气比较稳定;另一方面污泥焚烧多采用鼓泡流化床焚烧炉,与其他焚烧炉的控制存在较大的差别。污泥焚烧主要目标是通过焚烧实现污泥减量化,而非其他行业的供电和供热,因此系统的控制重点在于低热值燃料燃烧的稳定性,并且要确保焚烧温度 >850 ℃时停留时间 ≥ 2 s,以控制污染物排放。

从控制的优先层级角度,污泥焚烧项目的控制通常由常规的运行控制系统和主保护系统构成。DCS保证了污泥焚烧项目的正常生产运行,主要用于防止或将工厂运行中不可接受的情况降到最低,从而降低对工厂设备造成的损害以及防止常规事故发生。主保护系统作为安全控制系统,具有综合安全联锁功能,当运行的工况条件超出了系统正常的运行控制边界,用于防止或尽量减少在工厂内严重事故的发生。因此,主保护是控制的一部分,是保障安全性的控制系统。

从硬件配置角度,白龙港污泥二期工程的每个单元自动控制系统采用检测执行设备级、现场控制级、区域集中监控级三个层级典型的控制网络拓扑架构,详见图2。

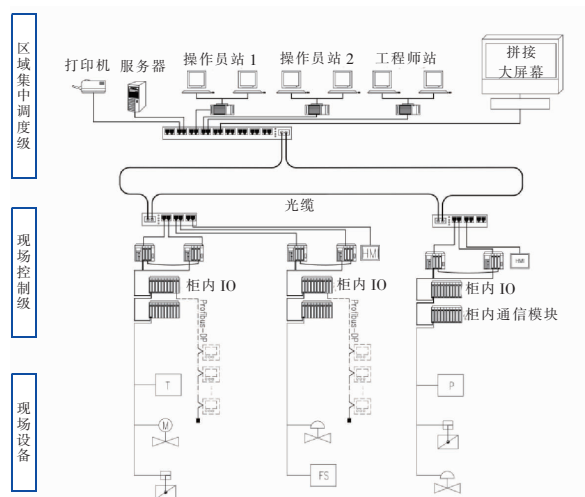


图2 白龙港污泥二期工程典型的控制网络拓扑架构

Fig.2 Typical control network of Bailonggang sludge phase II project

为了保证系统的可靠性,建议常规的控制系统和保护系统采用不同技术的硬件平台,这样在硬件平台单一故障下可以保证至少一个系统正常的运行保护,从而保证焚烧控制系统安全停运。

3 焚烧保护控制类型

安全保护系统是鼓泡流化床污泥焚烧系统的必备系统,它连续、密切地监视焚烧系统在各种工况下的状态,随时进行逻辑判断,异常时发出报警信号,在必要时切换到手动控制方式乃至停止焚烧炉运行^[3]。在本控制系统中采用了以下保护方式:

① 限值保护。根据焚烧炉运行情况,对一些重要参数如焚烧炉膛压力、焚烧炉膛温度等,实行限

值保护。对引风机转速改变速率、流化风机风门开度等都给予相应的限值保护。对单个设备,也都采用关键参数判断是否越限来保护设备。比如,通过判断床温来决定给料机的运行情况,若床温过低,则给料机不能运行,此时燃料无法燃烧;若床温过高,则停止运行。

② 连锁保护。在焚烧炉系统中,主要关键设备之间采用连锁关系,如给料机、流化风机之间有连锁关系。在流化风机没有启动的情况下,给料机等都不能启动^[4]。

③ 报警提示。对主要参数的边界进行报警提示,报警分为计算机报警和硬件报警。对焚烧炉系统的关键参数,如炉膛负压、炉膛温度等,采用报警器硬件报警。对所有参数越限,都有计算机报警,在监控画面会弹出警报窗口并且在报警截面有详细记录。记录内容包括报警时间、报警原因、报警时参数值、警报解除时间等。报警内容作为运行数据的一部分保存在硬盘中。

④ 紧急停止开关。当焚烧系统出现严重故障并难以正常运行时,可通过紧急停止开关,关闭整个焚烧系统,待故障修复后再重新启动。

4 主要焚烧保护控制

4.1 概述

白龙港污泥二期的保护控制包括常规运行保护控制系统和主保护系统。主保护控制主要由焚烧炉保护系统(BPS)和燃烧器管理系统(BMS)组成,持续监测焚烧炉、燃烧器、风机、给料机等相关重要设备的所有必要的保护性过程条件。为了保证系统的可靠性,用于失效保护的停机信号都采用3套仪表进行检测,然后采用三取二的逻辑进行执行判断,信号通过硬接线与失效保护模块直接相连后接入保护系统。焚烧炉保护中采用了失效保护连锁,如果超出对应限值,则焚烧炉和燃烧系统将被保护系统转入安全状态。

对于某个设备或者工况条件,焚烧炉保护功能在结构上采用了保护放行、启动、运行三个层次的结构。如果某项保护条件没有满足或不再满足,则设备或功能就会被连锁保护,而且不会放行执行启动或运行,或停止或关闭。

为保证重要设备、人身、环境的安全性,白龙港污泥二期焚烧系统主要包括以下几大保护控制,见表1。

表1 白龙港污泥二期焚烧系统的保护控制

Tab.1 Main incineration protection controls of Bailonggang sludge phase II project

保护控制	主要功能
焚烧炉保护连锁	焚烧炉的边界条件,比如:汽包液位、蒸汽温度、焚烧炉温度和压力等,对焚烧炉起到保护作用
风机保护连锁	流化风机、二次风机、循环风机、引风机管路的建立以及自身的温度、振动等,对风机起保护作用
焚烧炉吹扫保护连锁	通过管路的建立,监控风机的状态来对焚烧炉管路的吹扫起到保护作用
燃烧器保护连锁	燃烧器启动前的燃气供应、炉膛温度、风量、燃烧器等边界条件对燃烧器启动和炉膛起保护作用
维修保护连锁	对设备进入维修状态起到保护设备、人身安全的作用
给料保护连锁	通往燃烧室的污泥给料的启动和操作,通过给料保护连锁来实现,监视污泥输送系统的运行

4.2 总体启动顺序

焚烧炉的整个启动过程有严格的先后顺序控制,在前序工况没有达到要求的前提下无法进到下一阶段,这样才能更好地保护设备,逐步建立运行所需的环境条件。白龙港污泥二期保护控制释放流程见图3。

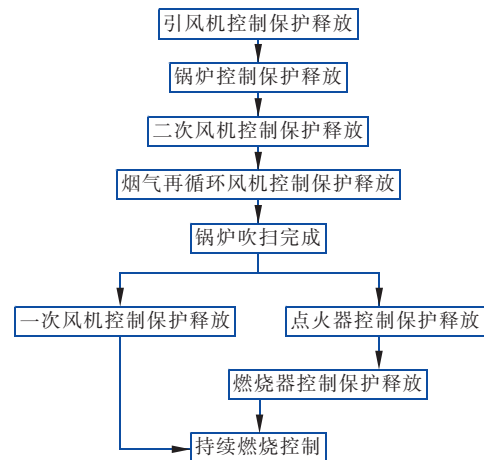


图3 白龙港污泥二期的主要设备保护流程

Fig.3 Equipment protection flow of Bailonggang sludge phase II project

焚烧系统重要设备或者子系统的保护控制有严格的逻辑控制,每个设备或者子系统启动之前都有一系列的先决条件,只有当所有条件满足之后才允许启动。结合白龙港污泥二期的焚烧炉保护控制,对重要设备或子系统保护控制的释放流程进行了详

细的研究,主要包括焚烧炉保护和几大风机主要设备的保护控制等。

4.3 焚烧炉保护控制

焚烧炉保护控制包括较多保护边界条件,比如:汽包液位、蒸汽温度、焚烧炉压力、引风机的状态、仪表用气压力等构成了焚烧炉的保护信号,只有当这些信号都同时达到条件,焚烧炉的保护联锁才会解除。鼓泡流化床焚烧炉保护联锁逻辑见图 4。该保护作为其他几乎所有重要设备启动的一个先决条件,十分重要。

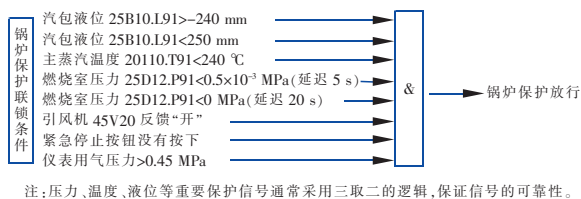


图 4 白龙港污泥二期鼓泡流化床焚烧炉保护联锁逻辑
Fig. 4 Incineration protection logic diagram of Bailonggang sludge phase II project

4.4 风机保护控制

焚烧炉点火燃烧环境主要通过几大风机以及工艺管路来建立,只有当引风机启动运行,焚烧炉的保护联锁解除后,后续二次风机、烟气再循环风机、一次风机才可以陆续启动,逐步建立焚烧炉可以点火的环境,为下一步燃烧器的点火建立条件。风机保护联锁逻辑见图 5。

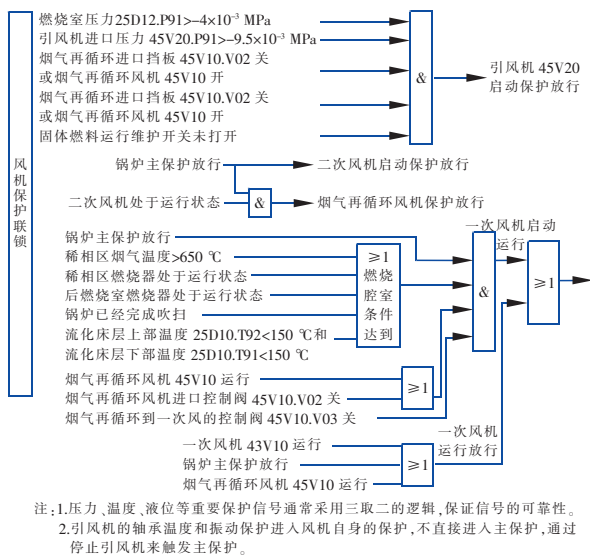


图 5 白龙港污泥二期风机保护联锁逻辑

Fig. 5 Fan protection logic diagram of Bailonggang sludge phase II project

按照风机的主保护逻辑联锁,可见并未包含风机自身的轴承温度和振动保护,而是放在常规的控制系統联锁里面,建议重要设备的自身保护也应放入到主保护里面。

4.5 燃烧器保护控制

为了有效、安全地对燃烧器进行控制,白龙港污泥二期设立了一套独立的 BMS,并就地配置了天然气燃烧器就地控制柜。BMS 是一套失效保护控制装置,保证设备的安全可靠运行。燃烧器保护联锁逻辑见图 6。

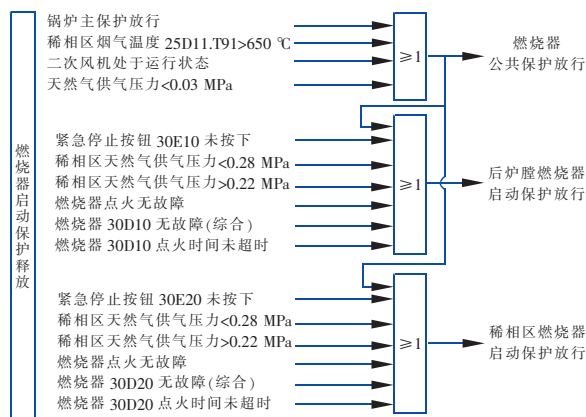


图 6 白龙港污泥二期燃烧器保护联锁逻辑

Fig. 6 Burner protection logic diagram of Bailonggang sludge phase II project

4.6 紧急停炉控制

锅炉保护系统和 DCS 联锁系统监控焚烧炉运行过程中的各种参数。当某些参数达到报警阈值(白龙港污泥二期保护控制的主要保护参数设定值中的焚烧炉保护放行保护设定值)或者某些条件丢失(如外部电源故障、给水泵故障、引风机故障、急停按钮被触发等),将会触发焚烧炉保护系统并停机。当停炉保护系统触发,系统将同时触发停止污泥给料、停止一次风机和二次风机。如果烟气再循环风机在运行,也将停止。通过切断给料,使焚烧炉快速降温,从而达到安全停机。

5 焚烧炉保护控制设定值的经验反馈

白龙港污泥二期焚烧系统的保护控制是整个污泥处理厂安全和生命线的保障。焚烧系统的保护控制经过系统的冷态试验、热态试验验证,在系统启动、提升负荷等工况下保护动作响应正常,能够满足污泥焚烧连续安全运行的要求。结合目前的调试及调试过程中出现的问题对设定值进行了调整,获取

了合理的保护设定值。白龙港污泥二期焚烧炉保护、风机保护控制的主要保护参数设定值见表 2。

表 2 白龙港污泥二期保护控制的主要保护参数设定值

Tab.2 Main incineration protection set points of Bailonggang sludge phase II project

保护控制		定值	备注
焚烧炉 保护放 行保护 设定值	汽包液位/mm	> -240	
	汽包液位/mm	< 250	
	主蒸汽温度/℃	< 240	
	燃烧室压力/MPa	< 0	20 s 延迟
	燃烧室压力/MPa	$< 0.5 \times 10^{-3}$	5 s 延迟
	仪表用气压力/MPa	> 0.45	
风机保护控 制设定值	燃烧室压力/MPa	$> -4 \times 10^{-3}$	引风机启动的保护压力
	引风机进口压力/MPa	$> -9.5 \times 10^{-3}$	
	二次风供风压力/MPa	$> 1 \times 10^{-3}$	
	稀相区烟气温度/℃	650	
	流化床层上部温度、下部温度/℃	均 < 150	
	烟气再循环风机电源开关开且烟气再循环供风压力/MPa	$> 1 \times 10^{-3}$	
	任意引风机轴承温度(属于风机自身保护)/℃	< 95	
	任意引风机轴承振动(属于风机自身保护)/(mm·s ⁻¹)	< 14	
	任意其他几大风机轴承温度(属于风机自身保护)/℃	< 100	
	任意其他几大轴承振动(属于风机自身保护)/(mm·s ⁻¹)	< 11.2	

6 结论

在污泥焚烧炉运行过程中,由于设备故障、运行人员操作不当等原因,往往会造成运行参数超过规定的限值,导致生产或者安全事故的发生。安全保护系统的任务,就是在设备或系统运行不正常的情
况下,及时采取措施,防止事故发生和扩大,保证焚烧系统的安全运行。

随着自动化工业的发展及其在污泥焚烧项目中的深入应用,污泥焚烧项目自动化程度和运行的安全稳定性大大提高。以白龙港污泥二期工程为例,对鼓泡流化床焚烧炉的控制原理、框架和主要的保护进行了研究和总结,举例给出了焚烧系统主要设备保护的逻辑联锁关系,可为同类项目的建设提供参考。

参考文献:

[1] 李辉,吴晓芙,蒋龙波,等. 城市污泥焚烧工艺研究进展[J]. 环境工程,2014,32(6):88-92.
LI Hui, WU Xiaofu, JIANG Longbo, et al. Progress in study on the incineration technology of municipal sewage sludge[J]. Environmental Engineering, 2014, 32(6): 88-92(in Chinese).

[2] 林莉峰,王丽花. 上海市竹园污泥干化焚烧工程设计与试运行总结[J]. 给水排水,2017,43(1):15-21.
LIN Lifeng, WANG Lihua. Engineering design and trial operation summary of Zhuyuan sludge drying and incineration project in Shanghai[J]. Water & Wastewater Engineering,2017,43(1):15-21(in Chinese).
[3] 王傲寒. 垃圾焚烧炉控制系统的设计与实现[D]. 西安:西安建筑科技大学,2018.
WANG Aohan. Design and Implementation of Waste Incinerator Control System[D]. Xi'an:Xi'an University of Architecture and Technology,2018(in Chinese).
[4] 姚志坚. 立式生活垃圾焚烧中的自动化控制系统设计与实现[D]. 成都:电子科技大学,2010.
YAO Zhijian. Design and Implementation of Automatic Control System for Vertical Household Waste Incineration [D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China,2010(in Chinese).

作者简介:应基光(1984-),男,浙江诸暨人,硕士,工程师,主要从事污水、污泥处理等工作。
E-mail:yingjiguang@126.com
收稿日期:2020-09-30
修回日期:2021-01-28

(编辑:衣春敏)